

Tuukka Lehtonen

Euro 6 ja EPA Tier 3 sekä WLTP ja RDE: vuonna 2017 voimaan tulevat päästöstandardit ja testikäytännöt

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Auto- ja kuljetustekniikka

Insinöörityö

19.5.2016

Tekijä Otsikko Sivumäärä Aika	Tuukka Lehkonen Euro 6 ja EPA Tier 3 sekä WLTP ja RDE: vuonna 2017 voimaan tulevat päästöstandardit ja testikäytännöt 42 sivua + 2 liitettä 19.5.2016
Tutkinto	Insinööri (AMK)
Koulutusohjelma	Auto- ja kuljetustekniikka
Suuntautumisvaihtoehto	Tuotetekniikka
Ohjaaja	Lehtori Heikki Parviainen
<p>Tämän insinöörityön tavoitteena oli selvittää ja analysoida vuonna 2017 voimaan tulevia muutoksia ajoneuvojen päästöstandardeihin ja uusia testikäytäntöjä. Työ tehtiin Metropolia AMK:lle.</p> <p>Työ on luonteeltaan kirjallisuustutkielma ja sen tavoitteena on antaa selkeä kuva tämän hetken päästöstandardeista, niiden historiasta ja tulevaisuudesta sekä ajoneuvojen päästöihin liittyvästä teknologiasta. Työ keskittyy lähinnä vuoden 2017 standardimuutoksiin Euroopassa ja Yhdysvalloissa. Työssä käsitellään Euro 6- ja EPA Tier 3 -standardien rakenne ja niitä vertaillaan keskenään. Lisäksi tarkastellaan nykyisten päästömittausten testikäytännöt molempien standardien suhteen sekä uudet tulevat testikäytännöt. Pakokaasujen hallintaan käytettävää teknologiaa tarkastellaan ja sen käyttöä tulevaisuudessa analysoidaan uusien päästörajojen suhteen. Työ lyhyesti tarkastelee myös kasvihuonekaasupäästöjä ja polttoaineen laadun vaikutusta päästöihin.</p> <p>Työn merkittävimäksi huomioksi nousee eurooppalaisiin dieselkäyttöisiin henkilöautoihin kohdistuva haaste uusien testikäytäntöjen myötä; tämänhetkisillä dieselkäyttöisillä henkilöautoilla on häviävän pieni mahdollisuus läpäistä uusia testikäytäntöjä. Pääasiallinen syy tähän on NOx-päästöjen todellisten arvojen suuri eroaminen vanhassa testisyklissä mitatuista arvoista. Työ kuitenkin arvioi uusienkin rajojen ja testien läpäisemisen olevan mahdollista nykyisellä teknologiallakin. Muutosten vaikutus on selkeästi pienempi Yhdysvalloissa kuin Euroopassa. Muutokset tuovat Eurooppaa ja Yhdysvaltoja lähemmäksi toisiaan keskinäisessä vertailtavuudessa.</p>	
Avainsanat	Päästöt, Euro 6, Tier 3, RDE, WLTP, 2017

Author Title Number of Pages Date	Tuukka Lehtonen Euro 6, EPA Tier 3, WLTP, and RDE: The Upcoming Emission Standards and Test Procedures of 2017 42 pages + 2 appendices 19 May 2016
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Automotive Engineering
Specialisation option	Automotive Design Engineering
Instructor	Heikki Parviainen, Senior Lecturer
<p>The objective of this Bachelor's thesis was to research and analyze upcoming changes in 2017 on vehicle emission standards and test procedures. The thesis was assigned by Helsinki Metropolia University of Applied Sciences.</p> <p>This thesis is a literature review of the current state, the history and the future of emission standards and technologies related to vehicle emissions. The main focus of this thesis are the upcoming changes in 2017 in Europe and in the USA. The thesis explains the structures of both Euro 6 and EPA Tier 3 standards. The standards are also compared to each other. In addition, both the current and the future test procedures regarding both standards are discussed. Technology related to emission control is presented and explained. The future of these technologies is assessed as well. Greenhouse gas emissions and the effects of fuel quality are also discussed briefly.</p> <p>The most prominent observation of this thesis is the challenge posed by new test procedures upon current European diesel-powered passenger vehicles. The current generation diesel-powered passenger vehicles in Europe have slim chances of passing new test procedures as they are. The main reason for this is the huge discrepancy between actual on-road NOx-emissions of diesel-powered vehicles and the vehicles measured under the old test procedures. The thesis comes to a conclusion, however, that even the new test procedures and limits are feasibly achievable with the current technology. The overall impact of changes is clearly greater in Europe than in the USA. The changes bring Europe and the USA closer together in being comparable to each other.</p>	
Keywords	Emissions, Euro 6, Tier 3, RDE, WLTP, 2017

Sisällys

Lyhenteet ja kemian käsitteet

1	Johdanto	1
2	Päästöt ja niiden standardit	2
2.1	Ajoneuvojen päästöt yleisesti	2
2.2	Globaalit standardit ja testikäytännöt	5
2.3	Euro- ja EPA Tier -standardien historia	6
2.4	Euro- ja Tier-standardien rakenne	9
3	Vuoden 2017 standardit ja testikäytännöt	11
3.1	Standardien rajojen muutokset	11
3.2	Testikäytännöt tällä hetkellä ja tulevat muutokset	13
3.2.1	NEDC	14
3.2.2	FTP-75	15
3.2.3	WLTP	17
3.2.4	WLTP verrattuna NEDC:hen	19
3.2.5	RDE	21
3.3	Euro 6 vs EPA Tier 3	22
4	Päästöjenhallinnan teknologia	26
4.1	Katalysaattorit	26
4.2	EGR	28
4.3	SCR	29
4.4	LNT	30
4.5	SAI	31
4.6	DPF	32
4.7	Yhteenveto	33
5	Polttoaine ja kasvihuonekaasut	36
5.1	Polttoaineen vaikutus	36
5.2	Kasvihuonekaasut ja niiden muutos uusien standardien myötä	37
6	Loppupäätelmät	39
	Lähteet	41

Liitteet

Liite 1. SFTP SC03

Liite 2. SFTP US06

Lyhenteet

EPA	Environmental Protection Agency. Yhdysvaltojen kansallinen ympäristövirasto.
NEDC	New European Driving Cycle. Eurooppalainen testisykli tyyppihyväksyntää varten.
WLTP	Worldwide harmonized Light vehicles Test Procedures. Uusi käyttöönotettava testikäytäntö tyyppihyväksyntää varten.
WLTC	Worldwide harmonized Light vehicles Test Cycle. WLTP:n varsinainen testisykli.
RDE	Real Driving Emissions. Toinen uusi käyttöönotettava testikäytäntö tyyppihyväksyntää varten.
ICCT	International Council on Clean Transportation. Riippumaton liikenteeseen suuntautuva kansainvälinen ympäristöjärjestö.
LEV	Light Emissions Vehicle. Vähäpäästöinen ajoneuvo; samalla myös kalifornian käyttämän päästöstandardin nimike.
EEC	European Economic Community. Eurooppalainen talousyhteisö, Euroopan Unionin edeltäjä.
SCR	Selective Catalytic Reduction. Lisäaineeseen perustuva pakokaasujen käsittelyn lisälaite.
EGR	Exhaust Gas Recirculation. Pakokaasujen uudelleenkierrättämiseen perustuva pakokaasujen käsittelyn lisälaite.
LNT	Lean NOx Trap. Typen oksidien kaappaamiseen käytettävä pakokaasujen käsittelyn lisälaite.
DPF	Diesel Particulate Filter. Hiukkasmaterian suodattamiseen käytettävä pakokaasujen käsittelyn lisälaite.

SAI	Secondary Air Injection. Tekniikka, jolla syötetään tuoretta ilmaa pakosarjaan.
FTP-75	Federal Test Procedure. Yhdysvaltain testikäytäntö tyyppihyväksyntää varten.
SFTP	Supplemental Federal Test Procedure. FTP-75 -lisätestit.
HWFET	Highway Fuel Economy Driving Schedule. Yhdysvaltain lisätesti polttoainetaloudellisuudesta tyyppihyväksynnän yhteydessä.
LDV	Light Duty Vehicle. Nimitys kevyille henkilöautoille Yhdysvaltain standardissa.
LDT	Light Duty Truck. Nimitys kevyille hyötyajoneuvoille Yhdysvaltain standardissa.
MDPV	Medium Duty Passenger Vehicle. Nimitys keskikokoisille henkilöautoille Yhdysvaltain standardissa.
GVWR	Gross Vehicle Weight Rating. Ajoneuvon painoarvo määriteltynä suurimman sallitun kuorman kautta.
PW _r	Power/Weight ratio. Tehon ja massan suhdetta kuvaava tekijä.
PEMS	Portable Emissions Measurement Systems. Autoon sijoitettava pakokaasujen mittauslaitteisto.
VVT	Variable Valve Timing. Säädetty venttiilin ajoitustekniikka, jolla voidaan säädellä dynaamisesti venttiilien avautumisen ja sulkeutumisen ajoituksia.
LEZ	Low Emission Zone. Alue, jolla on määritelty rajoituksia siellä kulkevien ajoneuvojen päästöille.
NMOG	Non-Methane Organic Gases. Orgaaniset kaasut, pois lukien metaani.
VOC	Volatile Organic Compounds. Haihtuvat orgaaniset yhdisteet.

THC	Total HydroCarbons. Hiilivedyt yhteensä
NMHC	Non-Methane HydroCarbons. Hiilivedyt yhteensä, pois lukien metaani.

Kemian käsitteet

CO	Hiilimonoksidi
HC	Hiilivety
NOx	Typen oksidit
PM	Hiukkasmateria
HCHO	Formaldehydi eli metanaali
CO ₂	Hiilidioksidi
SOx	Rikin oksidit
CH ₄	Metaani
ppm	Parts Per Million. Pitoisuus osina miljoonasta.

1 Johdanto

Tämän insinööriyön tavoite oli luoda selkeä kokonaiskuva ja analyysi vuonna 2017 käyttöönotettavista ajoneuvojen päästöjen standardi- ja testikäytäntömuutoksista Euroopassa ja Yhdysvalloissa. Työ pyrkii antamaan selkeän kuvan ajoneuvojen pakokaasujen päästöihin liittyvästä lainsäädännöstä nykyhetkessä ja lähitulevaisuudessa sekä muutosten vaikutuksista. Tämän lisäksi työ selvittää päästöihin liittyvää teknologiaa ja arvioi siihen kohdistuvia muutoksia lähitulevaisuudessa. Työ keskittyy pääasiallisesti henkilöautoihin ja niitä koskeviin kategorioihin; raskasta liikennettä koskevat standardit seuraavat erilaista aikataulua eivätkä ole siten samanlaisen muutoksen kourissa. Keskeisenä aiheena ovat Euro 6- ja EPA Tier 3 -standardit ja niitä koskevat päästöt. Tämän lisäksi huomioidaan Euroopan testikäytäntöjen muutos siirryttäessä NEDC-testikäytännöistä WLTP- ja RDE-testikäytäntöihin.

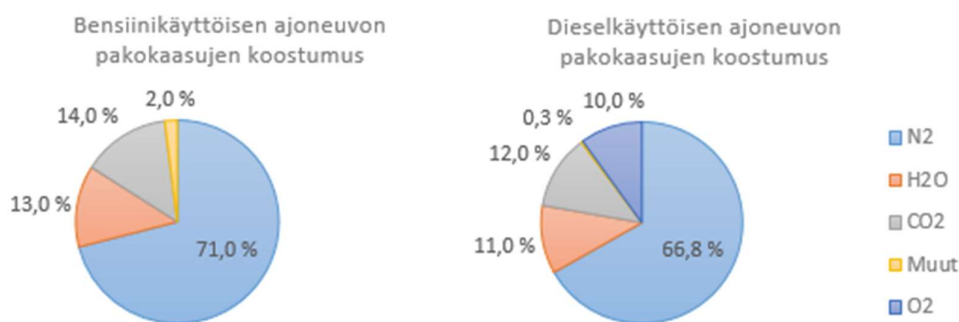
Vuonna 2017 tulevat muutokset tuovat mukanaan merkittäviä muutoksia ajoneuvojen päästöstandardeihin; euroopassa siirtyminen WLTP-testikäytäntöön vaikuttaa suuresti päästömittausten tarkkuuteen ja yhdysvalloissa Tier 3 -standardi kiristää päästörajoja entisestään yhdenmukaistuessaan kalifornian LEV III -standardin mukaiseksi. Muun maailman lähinnä seuratessa Euro- ja EPA-standardeja, nämä kaksi ovat myös siten maailman pakokaasupolitiikan keskus.

Työ toteutettiin kirjallisuustutkielmana, jossa tilaajana toimi Metropolia Ammattikorkeakoulu. Lähteinä toimivat suurimmalta osin suoraan Euroopan Komission ja Yhdysvaltain EPA:n (Environmental Protection Agency) omat tiedotteet ja tietokannat. Merkittävänä kolmantena lähteenä työssä on viittauksia ICCT:n tekemiin ja teettämiin tutkimuksiin ajoneuvojen päästöistä.

2 Päästöt ja niiden standardit

2.1 Ajoneuvojen päästöt yleisesti

Puhuttaessa ajoneuvojen päästöistä tarkoitetaan pääasiallisesti polttomoottorillisen ajoneuvon pakoputkesta ulos tulevia päästöjä. Näistä päästöistä suurin osa on pelkkää typpeä aivan kuten tavallisessa ilmassakin. Polttomoottorille tärkeä elementti ilmasta on happi, jota palotapahtuma tarvitsee. Typen lisäksi muodostuu vettä tai vesihöyryä, hiilidioksidia ja mahdollisesti palamatonta happea. Nämä aineet muodostavat n. 98 % - 99,7 % pakokaasuista. Tuohon jäljelle jäävään pieneen prosenttiosuuteen kuitenkin sisältyvät kaikki lainsäädännönalaiset päästöt pois lukien hiilidioksidi, jonka voidaan esittää kuuluvan lainsäädännön piiriin mutta eri tavalla. (1, s. 6.) Yleiskuvan muodostamiseksi alla kuvaajat (Kuva 1) tyypillisistä pakokaasujen koostumuksista bensiini- ja dieselikäyttöisille ajoneuvoille.



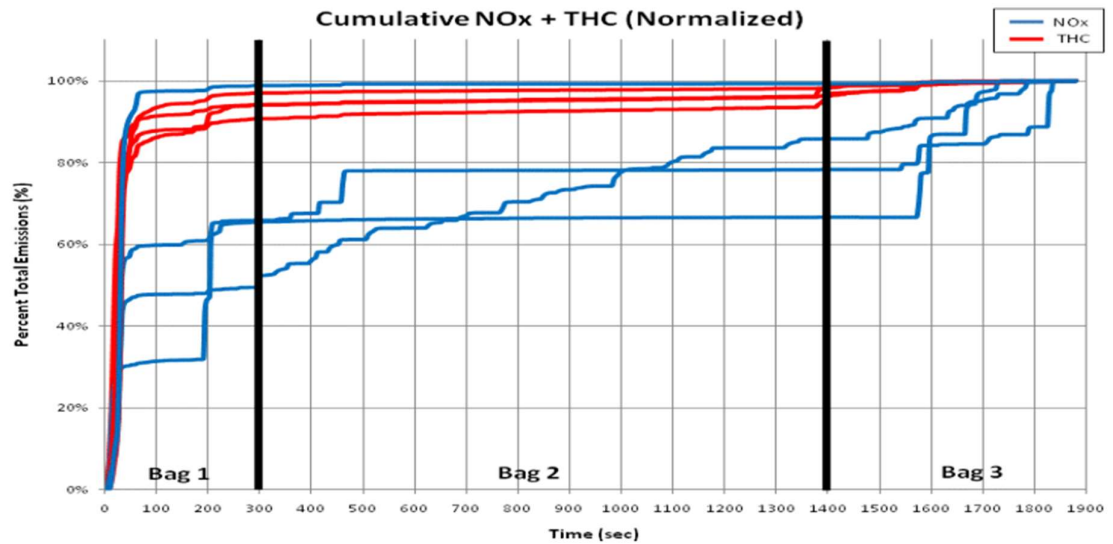
Kuva 1. Ajoneuvojen pakokaasujen koostumukset

Suurimmalta osin autojen pakokaasut eivät siis sisällä mitään alkuaineita, joita ilmassa ei jo valmiiksi ole. Kuitenkin nuo pienet osuudet muita aineita ovat merkittäviä. Näistä aineista säädeltyjen päästöjen listalla ovat hiilivedyt (HC), hiilimonoksidit (CO), typen oksidit (NO_x) ja hiukkasmateria (P tai PM). Näiden lisäksi syntyy pieniä määriä rikin oksideja (SO_x). (1, s. 7–9.) Hiilivedyt koostuvat useista erilaisista hiilivedyistä, mutta lainsäädännössä niitä ryhmitellään muutamaan eri ryhmään, jotka käsitellään rakennetta koskevassa luvussa 2.4. Pakokaasujen lisäksi säännöstellään ajoneuvoista haihtumisen

myötä ilmakehään pääseviä aineita, joskin niiden osuus on pieni verrattuna pakokaasujen osuuteen (2, s. 60.)

Ajoneuvojen päästöillä on kaksitasoinen vaikutus: osa niistä vaikuttaa suoraan ajoneuvojen käyttöympäristön ilmanlaatuun ja osa pitkällä tähtäimellä maailmanlaajuiseen ilmastomuutokseen (3, s. 1). Ilmastomuutokseen vaikuttavista ns. kasvihuonekaasuista merkittävin on hiilidioksidi ajoneuvojen tapauksessa. Hiilidioksidin lisäksi autot tuottavat pieniä määriä metaania ja dityppioksideja, joiden kasvihuonevaikutus on itsessään moninkertainen, mutta niiden määrä on marginaalinen hiilidioksidiin verrattuna (2, s. 495). Kuten kuvasta 1 käy ilmi, molemmat polttomoottorityypit tuottavat hiilidioksidia huomattavan määrän. Hiilidioksidipäästöjä ei säännöstellä pakokaasupäästöjä koskeissa standardeissa suoraan. Rajoitukset ovat lähinnä koko autokannan tuottaman hiilidioksidimäärän keskiarvoon kohdistuvia tavoitteita (4, s. 1) ja autoja, jotka tuottavat vähemmän hiilidioksidia, pyritään suosimaan mm. verotuksessa. Suoraan käyttöympäristöön vaikuttavia päästöjä sen sijaan säännöstellään suorasti, ja molemmissa sekä Euro- että EPA-standardeissa on absoluuttiset ajoneuvokohtaiset rajat päästöille. Näistä historiallisesti työläimmiksi ovat osoittautuneet bensiinikäyttöisillä ajoneuvoilla hiilimonoksidipäästöt ja dieselikäyttöisillä, huomattavasti suurempina haasteina, typen oksidipäästöt sekä hiukkasmateria (5). Rajoitusten saavuttamiseksi autoihin on ajan myötä kehitetty uutta teknologiaa hallitsemaan ja puhdistamaan pakokaasuja. Näistä laitteista tarkemmin luvussa 4.

Ajoneuvojen päästöjenhallintalaitteiden historiallisesti suurin haaste on ollut ja on yhä kylmäkäynnistystilanne. Suurin osa kaikista haitallisista päästöistä tapahtuu tällöin. (2, s. 29.) Kylmäkäynnistyksellä tarkoitetaan tilannetta, jossa auton moottori on ympäröivän ilman lämpötilan mukainen. Kuva 2 selkeyttää päästöjen muodostumista suhteessa aikaan.



Kuva 2. Pakokaasupäästöjen määrä kumulatiivisena ajan suhteen (2, s. 7).

Kuten kuvaajasta näkyy, ylivoimaisesti suurin osa NOx- ja THC-päästöistä (Total HydroCarbons) syntyy ensimmäisen ajominuutin aikana, jolloin auton päästönhallintalaitteet ovat vielä verraten kylmiä. Toimiakseen kunnolla katalyyttiset lisälaitteet vaativat tyypillisesti n. 250 celsiusasteen lämpötilan. Katalyytit saavat lämpönsä auton pakokaasujen lämpöenergiasta. Muut päästöt mukailevat hyvin samanlaista trendiä. (2, s. 31.) Nykyiset teknologiset haasteet kohdentuvatkin siis paljolti tähän ensimmäiseen käyttöminuuttiin.

Lainsäädännön rakenteen koskiessa ns. marginaalisia päästöjä keskittyy tämä työkin lähinnä näihin ympäristöön suoraan vaikuttaviin päästöihin ja niiden lainsäädäntöön. Hiilidioksidiin liittyviä vaikutuksia käsitellään luvussa 5.2.

2.2 Globaalit standardit ja testikäytännöt

Ajoneuvon päästöjä koskevat standardit ovat lähtökohtaisesti maakohtaisia säädöksiä; mitään yhtä suurta koko maailman kattavaa päästöstandardia ei ole olemassa. Lähes kaikki maailman standardit tosin mukailevat lähinnä kahta eri standardia: Yhdysvaltojen kansallista Tier-standardia ja Euroopan unionin Euro-standardia. Näiden lisäksi merkittävänä itsenäisenä säädäntönä mainittakoon Japanin päästösäädäntö, jota tosin ei tässä työssä käsitellä.

Euro-standardi pätee kaikissa EU:n jäsenmaissa suoraan. Euro-standardia mukailevat myös Venäjän, Kiinan sekä Intian päästörajoitukset. Kiina ja Intia verraten kehittyvinä maina ovat uusimpia standardeja jäljessä. Yhdysvaltojen standardeja mukailevista maista mainittavia ovat Kanada ja suurin osa Keski- sekä Etelä-Amerikan maista. Samoin kuin Kiina ja Intia näiden alueiden kehittyvät maat ovat hieman jäljessä. (6.)

Euroopan ja Yhdysvaltojen standardit ovat keskenään suhteellisen lähellä linjauksissaan ja siten suurimmalta osin päästöjä koskeva säädäntö on globaalisti yhdensuuntaista. Yhdenmukaiset standardit ovat selkeä etu autojen valmistuksessa: suurin piirtein sama auto on laillinen kaikkialla. Yhdenmukaiset standardit mahdollistavat myös päästöjen globaalin hallinnan, mutta vaikka suunta on yhteinen, ei sen taso ole vielä yhteinen. (7, s. 10.)

Testikäytännöllä tarkoitetaan testaustapaa, jolla päästöt mitataan ja sertifioidaan. Yleisimmin näitä testikäytäntöjä käytetään uusien autojen tyyppihyväksynnässä. Euro-standardissa käytetään tällä hetkellä NEDC-testikäytäntöä (New European Driving Cycle). Käytäntö koostuu kahdesta testiosiosta, jotka simuloivat kaupunkiajoa ja maantieajoa. Yhdysvalloissa on käytössä FTP-75 (Federal Testing Procedure) ja sen lisänä SFTP-testisyklit, jotka erikoistuvat aggressiivisen ajon, korkealla kuormalla ajon ja kylmässä ajon testaamiseen. Testisyklit suoritetaan dynamometrillä ja niiden tuloksista sertifioidaan testatulle automallille päästöarvot sekä ilmoitettava polttoaineen kulutuslukema. (8.)

Tässä työssä käsiteltävät Euro- ja Tier-standardien osiot kohdistuvat lähinnä kevyemmän liikenteen eli henkilöautojen ja kevyiden hyötyajoneuvojen päästöihin. Raskasta kalustoa koskevat standardit seuraavat eri aikalinjoja ja siten eivät muutu työssä käsiteltyjen muutosten mukaisesti jääden siten pääasiassa työn ulkopuolelle.

2.3 Euro- ja EPA Tier -standardien historia

Ympäriönsuojelu koki merkittävää huomion kasvua 1970-luvulla. Ihmisiä alkoi kiinnostamaan oman elinympäristön terveellisyys jatkuvasti tihenevässä asumisympäristössä sekä ajatus globaalista ympäristöstä ja sen tulevaisuudesta löysi tiensä yleiseen tietouteen. Ilmanlaadun merkistys korostui, ja jatkuvasti kasvava autokanta herätti huolta.

Ajoneuvojen päästöihin kohdistuva lainsäädäntö saikin alkunsa myös 1970-luvulla. Vuonna 1970 Yhdysvaltain kongressi toi Clean Air Act –päätöksessään ensimmäisen lainsäädännön pakoputken päästä mitattaviin päästöihin yhdysvalloissa (9, s. 1). Euroopassa samana vuonna EEC (European Economic Community) otti käyttöön myös ensimmäiset pakokaasupäästöjä koskevat säädökset (10). Suomi ei ollut EEC:n jäsenmaa eikä siten kuulunut säädösten piiriin vielä tässä vaiheessa.

Ensimmäisissä standardeissa puututtiin hiilimonoksiidin, palavien orgaanisten yhdisteiden eli lähinnä hiilivetyjen ja typen oksidien määriin pakokaasuissa. Vertailuesimerkkinä Yhdysvalloissa tämän säädöksen piirissä henkilöauto tai kevyt kuorma-auto sai päästää NOx-päästöjä 3,1 grammaa per maili (n. 5 g per km). (9, s. 1.) Seuraavissa kappaleissa käytetään NOx-päästöjä referenssinä, joilla eri standardeja voidaan verrata yksinkertaistetusti keskenään; muut päästörajat seuraavat suunilleen samaa trendiä, ellei toisin ole mainittu.

Vuoteen 1988 mennessä Yhdysvaltain standardeja oli tiukennettu jo merkittävästi ja henkilöautojen NOx-päästöt oli rajattu 1 grammaan per maili. EEC tiukensi omia rajoituksiaan samankaltaisesti lisäämällä jo olemassa olevaan säädökseen. (9, s. 1.) Tarve pitkäkestoiselle ja muuttuvalle säädösrakenteelle oli kuitenkin selkeä.

Vuonna 1990 Yhdysvaltain kongressi päätti uudesta standardista, jota kutsutaan nimellä Tier 1 (suom. taso 1) ja se pudotti päästörajoja yhä alemmaksi, sallien NOx-päästöjä vain 0,6 grammaa per maili. Päätöksen oli määrä astua voimaan 1994. Tämän myötä päätettiin myös tutkimustarpeesta tulevaisuutta varten, josta EPA toimittaisi raportin vuoteen 1998 mennessä. (9, s. 1.) Samoihin aikoihin Euroopan unionin muodostumisen myötä, syntyi Euro 1 -standardi. Molemmat standardit keskittyivät samojen päästöjen mittaamiseen sekä sääntelemiseen. Euro 1 erosi merkittävimmin siinä, että se erotteli bensiini- ja dieselmääräiset autot eri päästöluokkiin massan mukaan erottelun lisäksi.

Euro 1 yhdisti hiilivetypäästöt ja typen oksidit yhdeksi kategoriaksi, ja sen sallittu maksimi oli 0,97 grammaa per kilometri eli samaa luokkaa Tier 1 -standardin kanssa. (10, s. 1).

Samaan aikaan Tier 1 -standardin päätöksen kanssa, 1990, Kalifornia laati omat, Tier 1 -standardia tiukemmat rajoituksensa. Suurien metropoliensa, erityisesti Los Angelesin, takia Kalifornian osavaltio katsoi tarvitsevänsä tiukemman politiikan päästöjen suhteen. Ensimmäinen säädös nimettiin LEV I:ksi, joka on lyhenne Low Emission Vehiclestä eli matalapäästöinen ajoneuvo. (11, s. 1.)

Euro 2 astui voimaan vuonna 1996. Euro 2 eritteli dieselkäyttöisten autojen hiukkasmassan rajan suihkutusetodin myötä suosien suorasuihkutteista dieselmoottoria lievästi anteeksi antavaisemmalla hiukkasmassan rajoituksella. Kaikkien valmistettujen moottorien piti alittaa sallitut arvot, siinä missä aiemmin tyyppihyväksynnän perusteena olivat sattumanvaraiset otokset tuotannosta. Euro 2 myötä astuivat myös voimaan polttoaineen rikkipitoisuutta koskevat säädökset. Dieselpolttoaineen rikkipitoisuus sai Euro 2 -standardin mukaan olla enintään 500 ppm (parts per million). Tätä ennen vapaaehtoinen sopimus oli rajoittanut rikin määräksi 2000 ppm, jota eurooppalaiset tuottajat kaikki seurasivat. (10.) Vuonna 1998 Yhdysvalloissa hallitus päätti yhdessä autonvalmistajien kanssa vapaaehtoisesta sopimuksesta madaltaa autojen päästöjä entisestään. Tämän sopimuksen alaiset autot alittivat Tier 1 -standardin sallimat päästöt parhaimmillaan 50 %:n marginaalilla. Samana vuonna EPA myös antoi raporttinsa tulevaisuuden tarpeelle tiukentaa päästörajoituksia. Raportti nimesi kolme perustetta tarpeelle: ajoneuvojen suuri vaikutus haitallisen smogin eli savusumun muodostumiseen, suuremmat henkilöautot, jotka eivät olleet oikein säädeltyjä nykyisessä säädöksessä ja mahdollistavan teknologian olemassaolo sekä sen kustannustehokkuus. EPA myös totesi tarpeen polttoaineen rikkipitoisuuden alentamiselle, jotta tavoitteisiin voidaan päästä. (9, s. 2.)

Päätös Tier 2 -standardista näki päivänvalon vuonna 1999, ja se asetettiin käyttöön otettavaksi vuonna 2004. Tier 2 korjasi aiemmin mainittuja kohtia luokitellen kevyet kuorma-autot ja henkilöautot samaan päästöluokkaan. Samalla kaikkia päästömääriä tiukennettiin entisestään. Sallitut NO_x-päästöt saivat olla vain 0,07 grammaa per maili. Pudotusta Tier 1 -standardin arvoista oli parhaimmillaan 95 % ja pienimmilläänkin 50 %. Arvojen saavuttamiseksi sallittiin suuremmille ajoneuvoille ylimääräistä aikaa ja käytännössä siirryttiin päästöarvojen keskiarvottamiseen. Ajoneuvot jaettiin painon mukaan kahteen eri yläkategoriaan, ja päästövaatimukset tuli

toteutua kunkin kategorian keskiarvon mukaan: kaikkien yksilöiden ei tarvitse alittaa arvoja, mutta keskiarvon tulisi alittaa arvot. Tämä salli autonvalmistajille joustavuutta sekä kannusti valmistamaan mahdollisimman pienipäästöisiä ajoneuvoja. Suurta varianssia rajoittamaan Tier 2 -standardin myötä astui voimaan koripohjainen järjestelmä (eng. bin), jossa valmistaja päättää tietyn automalliyksilön sopivan johonkin koriin ja siten noudattaa kyseisen korin maksimirajoituksia. Tier 2 -standardi myös asetti polttoaineelle ensimmäiset rikkipitoisuusrajat: keskimääräisesti 30 ppm ja maksimissaan 80 ppm. Kalifornian LEV II -standardi otettiin käyttöön samalla aikataululla ja se sallii NO_x-päästöjä vain 0,05 grammaa per maili. Sekä Tier 2 että LEV II -päätökset olivat porrastettuja vuodesta 2004 vuoteen 2010 asti implementaatioissaan, tarkoittaen vuosittain muuttuvia uusia rajoja vuoteen 2010 asti. (9, s. 2–3; 11, s. 1.)

Euro 3 astui voimaan vuonna 2001 ja toi EGR:n myös bensiinikäyttöisiin henkilöautoihin. Dieselukäyttöisissä henkilöautoissa yleistyivät Common Rail -tyyppiset polttoainejärjestelmät ja jäähdytetty EGR. Dieselukäyttöisissä henkilöautoissa alettiin myös käyttää kaksitoimikatalyysaattoria vähentämään hiukkasmateriaa. Euro 3 toi myös sallitun maksimin pelkille NO_x-päästöille dieselukäyttöisille ajoneuvoille, siinä missä aiemmin oli rajoitettu vain hiilivetyjen ja typen oksidien kokonaismäärää. Kevyissä ajoneuvoissa dieselin kohdalla se on 0,5 grammaa per kilometri ja bensiinillä 0,15 grammaa per kilometri.

Euro 4:n myötä vuonna 2006 dieselukäyttöisissä henkilöautoissa yleistyivät sähköisesti hallitut polttoainesuuttimet, välijäähdyttimellä varustetut turboahtimet ja EGR:n sähköinen hallinta. Bensiinikäyttöisissä henkilöautoissa lähinnä paranneltiin olemassa olevien laitteiden yleistä laatua. Euro 4:n NO_x-päästöjen sallitut maksimit ovat dieselille 0,25 g/km (diesel) ja 0,08 g/km (bensiini). Verrattuna Tier 2 -säädöksen rajoihin Euro 4 oli joustavampi dieselille erottelullaan; päästörajat ovat yksi selkeä peruste sille, miksei Yhdysvalloissa dieselaita ole suosittu läheskään yhtä paljon kuin Euroopassa. Euro 4 -standardin mukainen polttoaineen standardi määritteli rikin maksimipitoisuudeksi 50 ppm ja polttoainetta, jonka rikkipitoisuus on 10 ppm, on oltava saatavilla.

Euro 5 astui voimaan 2009, vain kolme vuotta Euro 4:n jälkeen. Dieselukäyttöisten henkilöautojen teknologian tarve pakokaasujen käsittelyyn lisääntyi: VVT (Variable Valve Timing), hiukkassuodattimet ja muuttuvageometriset turboahtimet yleistyivät. Lisäksi joissain isompitilavuuksisilla moottoreilla varustetuissa autoissa otettiin käyttöön LNT:t (Lean NO_x Trap). Euro 5:n myötä hiilivedyt erotellaan typen oksideista

bensiinikäyttöisillä autoilla, sen sijaan että rajoitettiin hiilivetyjä vain molempien summana. Suorasuihkutteisille bensiinikäyttöisille autoille määrättiin hiukkasmassaa koskevat rajoitukset, jotka dieselikäyttöisille autoille ovat olleet käytössä jo Euro 1 -standardista lähtien. Hiukkasmassan määrää pudotettiin myös rankasti: viidennekseen siitä, mitä se oli Euro 4:n piirissä. Euro 5b, vuonna 2011, lisäsi myös dieselikäyttöisille ajoneuvoille hiukkasmäärän, pelkän massan mittaamisen lisäksi. Euro 5:n mukainen polttoainestandardi laski sallitun rikkipitoisuuden 10 ppm:n tasolle alittaen selkeästi Tier 2 -säädöksen vaatiman tason. (10.)

Vuonna 2010 Yhdysvaltain hallitus päätti yhdenmukaistaa kansallisen Tier-standardin Kalifornian LEV-standardin kanssa tulevassa Tier 3 -standardissaan. Molempien sekä Tier 3- että LEV III -standardien on määrä astua voimaan 2017, ja niiden tuomia muutoksia käsitellään seuraavissa luvuissa. (12, s. 2–3.)

Euro 6 astui voimaan syyskuussa 2015, mutta sen finalisaatio (Euro 6d) tapahtuu vasta 2017, kun käyttöön otetaan uusi testikäytäntö WLTP (World harmonized Light vehicle Test Procedure), joka eroaa merkittävästi tähän saakka olleesta NEDC:stä huomattavasti. Tämän lisäksi testiin lisätään RDE-testi (Real Driving Emissions), joka mittaa päästöjä varsinaisessa ajossa. Näitä muutoksia ja niiden vaikutuksia käydään läpi seuraavissa luvuissa.

2.4 Euro- ja Tier-standardien rakenne

Euro 6 -standardi rakentuu kolmesta eri ajoneuvoluokasta massan mukaan. Kevyimmässä luokassa ovat henkilöautot (M* tai HA) ja alle 1305 kg:n hyötyajoneuvot (N1 I). Seuraavassa luokassa ovat 1350–1760 kg:n hyötyajoneuvot (N1 II) ja kolmannessa luokassa ovat 1760–3500kg:n hyötyajoneuvot (N1 III & N2). Massa, jonka mukaan jako tehdään, on referenssipaino eli ajokuntoisen auton paino plus 175 kg. Tämän lisäksi tehdään vielä polttoainetyypin mukaan jako kahtia. Näin syntyvistä kategorioista mitataan seuraavia päästöjä: hiilimonoksidi (CO), hiilivedyt kaikkiaan (THC), hiilivedyt ilman metaania (NMHC), typenoksidit (NOx), partikkelimassa (PM) ja partikkelien määrä (P). Euro 6 -standardin päästörajat ovat sallittuja maksimeja, ja niiden tulee päteä jokaiselle ajoneuvoyksilölle. Euro 6 asettaa ajoneuvon hyödyllisen elinkaaren pituudeksi 5 vuotta tai 160 000 km. Ajoneuvon ja sen saastelaitteiden tulee siis kestää tämä elinkaari pysyen asetettujen rajojen alapuolella. (10.)

Tier 3 -standardi on rakenteeltaan hieman monimutkaisempi. Ajoneuvot jakautuvat kolmeen kategoriaan massan mukaan: kevyimmät (LDV, LDT1) keskiraskaat (LDT2, 3, 4 & MDPV) ja raskaat jotka eivät ole enää Tier 3 -standardin piirissä. Ajoneuvon massa lasketaan GVWR:n (Gross Vehicle Weight Rating) määritelmän mukaan eli ajoneuvon suurimman sallitun kuorman mukaan. Kyseisille kategorioille nämä ovat kevyimmän tapauksessa kaikki alle 3856 kg ja keskiraskaan tapauksessa 3856–6350 kg. Massaan perustuvien luokitusten lisäksi käytössä on korijärjestelmä (eng. bin), jossa valmistaja valitsee ajoneuvoyksilölle jonkin tietyn korin, jonka rajojen mukaan kyseinen ajoneuvo sertifioidaan. Nämä rajat ovat absoluuttisia maksimeja. Tämän lisäksi jokaisen valmistajan ajoneuvoluokan tulee saavuttaa Tier 3 -standardin mukaiset päästöraajat keskiarvona. Siis valmistajan kaikkien ajoneuvojen, joiden GVWR on alle 3856 kg, tulee alittaa Tier 3 -standardin määrittämät arvot yhteisellä keskiarvolla. Tämän lisäksi jokaisen ajoneuvoyksilön pitää olla sopiva johonkin koriin ja täyttää sen vaatimukset.

Mitatuissa päästöissä yhdistetään typen oksidit sekä orgaaniset kaasut metaania lukuun ottamatta (NMOG). NMOG vastaa suunnilleen Euro-standardin määrittelemää NMHC-määritelmää, joten vertailussa näitä kahta voidaan pitää toisiensa vastineina. Tämän lisäksi Euro-standardista poiketen mitataan formaldehydin (HCHO) määrää. Korikohtaiset arvot ovat absoluuttisia maksimeja. Näiden lisäksi on koko painoluokan yhteinen keskiarvovaatimus NMOG+NO_x-päästöille ja absoluuttinen ajoneuvokohtainen partikkelimassan rajoitus. Tier 3 -standardi ei tee erottelua polttoaineiden välillä. Tier 3 -standardi asettaa ajoneuvon hyödyllisen elinkaaren pituudeksi 15 vuotta 240 000 km. (2, s. 12–16.)

Molemmat standardit mittaavat pääasiassa samoja päästöjä, mutta tavat ryhmitellä päästöjä sekä tavat rajoittaa niitä poikkeavat. Standardit myös poikkeavat toisistaan testikäytännöissä: Euro-standardin käyttämä NEDC on lyhyempi ja kaupunkipainotteisempi kuin Yhdysvaltain FTP-75. 2017 käyttöön otettava NEDC:n korvaava WLTP on huomattavasti samankaltaisempi FTP-75-käytännön kanssa ja parantaa tulevaisuudessa alueiden yhdenvertaisuutta päästöissä.

3 Vuoden 2017 standardit ja testikäytännöt

3.1 Standardien rajojen muutokset

Vuosi 2017 tuo merkittäviä muutoksia molempien Euro- sekä Tier-standardien kannalta. Yhdysvalloissa otetaan käyttöön Tier 3 -lainsäädäntö ja Euroopassa Euro 6d, jonka myötä testikäytäntö uusitaan kokonaan. Euro 6 on jo alustavasti ollut käytössä 2015 lähtien, mutta vertailun ja testisyklin muutoksen vuoksi voidaan sen ajatella astuvan voimaan varsinaisesti 2017. Täten se on vertailtavissa Tier 3 -standardin säädösten kanssa suurimmalta osin. Seuraavista taulukoista 1, 2 ja 3 voidaan muodostaa kuva molempien standardien uusista rajoituksista ja niiden rakenteista.

Taulukko 1. Euro 6 päästörajat (10).

Euro 6 päästörajat ajoneuvoluokittain	CO	THC	NMHC	Nox	HC+Nox	PM	P#
	mg/km	mg/km	mg/km	mg/km	mg/km	mg/km	lkm/km
Diesel							
N2 & N1 III	740	-	-	125	215	5	6,0*10 ¹¹
N1 II	630	-	-	105	195	5	6,0*10 ¹¹
HA & N1 I	500	-	-	80	170	5	6,0*10 ¹¹
Euro 5 HA Diesel	500	-	-	180	230	5	6,0*10 ¹¹
Bensiini (Partikkelimassa vain suorasuihkutuksella)							
N2 & N1 III	2270	160	108	82	-	5	6,0*10 ¹¹
N1 II	1810	130	90	75	-	5	6,0*10 ¹¹
HA & N1 I	1000	100	68	60	-	5	6,0*10 ¹¹
Euro 5 HA Bensiini	1000	100	68	60	-	5	-

Taulukon 1 ajoneuvoluokat on kerrottu edellisessä luvussa 2.4. Vertailuna mukana on Euro 5:n henkilöautoluokka.

Taulukossa 2 on esitettyä Tier 3 -standardin korit henkilöautoille ja kevyimmille hyötyajoneuvoille (GVWR < 3856 kg). Vertailuna taulukossa on mukana Tier 2 -standardin kori 5, joka oli kyseisen standardin keskimääräinen kori. Taulukkojen mg/km-arvot ovat vertailukelpoisuuden vuoksi pyöristyksiä mg/mi-arvoista.

Taulukko 2. Tier 3:n korijärjestelmän päästörajat (7, s. 8).

Tier 3 Korit LDV & LDT1	NMOG+ NOx	PM	CO	HCHO
	mg/km	mg/km	mg/km	mg/km
Kori 160	100	2	2610	2
Kori 125	78	2	1305	2
Kori 70	44	2	1057	2
Kori 50	31	2	1057	2
Kori 30	19	2	622	2
Kori 20	12	2	622	2
Kori 0	0	0	0	0
Tier 2 Kori 5	100	6	2610	11

Taulukko 3. Tier 3:n ajoneuvoluokkakohtaiset päästörajat (2, s. 13–14).

Tier 3 NMOG+NOx (mg/km)	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025+
LDV & LDT1	54	49	45	41	36	32	28	23	19
LDT2 ,3, 4 & MDPV	63	58	52	46	41	35	29	24	19

Tier 3 PM (mg/km)	2017	2018	2019	2020	2021	2022
Voimaantulo (%)	20 %	20 %	40 %	70 %	100 %	100 %
FTP sertifikaatio	1,9	1,9	1,9	1,9	1,9	1,9
FTP käytössä	3,8	3,8	3,8	3,8	3,8	1,9

Taulukossa 3 ylemmän taulukon arvot ovat ajoneuvokategorioiden vaaditut keskiarvot NMOG+NOx-päästöille. Taulukon 3 alempi taulukko ilmoittaa hiukkasmassalle sallitun ajoneuvokohtaisen maksimiarvon. Hiukkasmassan määrän rajoitusta tuodaan käytäntöön asteittain per vuosi. Taulukon voimaantuloprosentti ilmoittaa vaaditun

prosenttiosuuden uusista ajoneuvoista, joiden tulee alittaa raja. Hiukkasmassalle on asetettu kaksi arvoa: ensimmäinen uuden ajoneuvon tyyppihyväksyntää varten ja jälkimmäinen hyödyllisen elinkaaren aikana sallittavan maksimiarvon. (2, s. 14.)

Standardeja keskenään vertailtaessa bensiinikäyttöisten ajoneuvojen kohdalla voidaan laskea Euro-standardista yhteen NMHC- ja NOx-päästöt ja verrata näitä Tier-standardin NMOG+NOx-päästöihin. Dieseliä kohdalla suora vertailu on hieman hankalaa, koska Euro-standardissa mitattu NOx+HC sisältää metaanin, jota NMOG+NOx-määritelmä ei sisällä. Karkeasti arvioituna kuitenkin vastaavuus on samaa luokkaa, sillä dieselikäyttöisten ajoneuvojen metaanipäästöt ovat marginaalisia. (13, s. 11.)

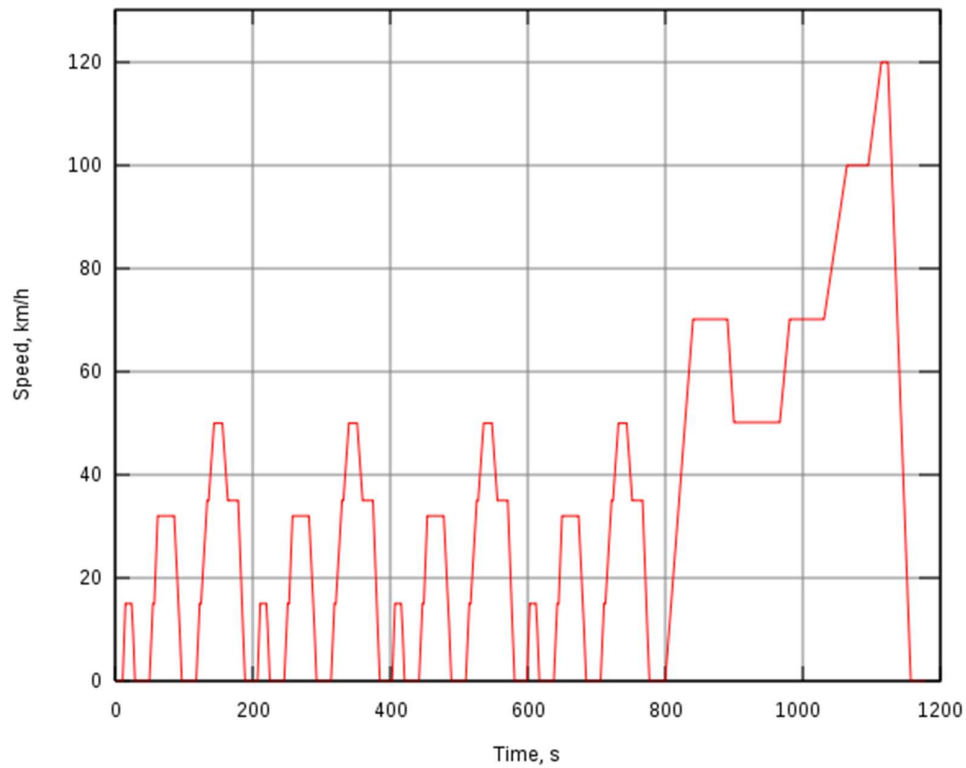
3.2 Testikäytännöt tällä hetkellä ja tulevat muutokset

Ajoneuvojen päästörajoituksia valvotaan pääasiallisesti uusien ajoneuvojen tyyppihyväksynnän yhteydessä. Tällöin ajoneuvoa testaan erinäisillä testisykleillä riippuen tyyppihyväksynnän kohdemaasta. Testisykli on sarja mitattua dataa ajoneuvon nopeudesta suhteessa aikaan. Testisyklit toteutetaan dynamometrillä laboratorio-olosuhteissa. Testisyklin tarkoituksena on simuloida tavanomaista ajotapahtumaa käyttäen hyväksi erilaisia segmenttejä testin sisällä tai täysin erillisiä lisätestejä. Samoilla testisykleillä määritetään mm. ajoneuvon polttoaineenkulutus.

Historiallisesti testikäytäntöjä on päivitetty tekemällä muutoksia jo olemassa oleviin testisykleihin ja liitännäisiin sääntöihin. Molemmat nykyiset testikäytännöt NEDC ja FTP-75 ovat olleet käytössä jo 70-luvulta lähtien. Suoranaista siirtymää täysin toiseen testikäytäntöön tai yhtä radikaalia muutosta ei ole Euroopassa eikä Yhdysvalloissa koettu siis pitkään aikaan. Merkittävimpänä muutoksena tähän asti voidaan pitää vuonna 2000 NEDC:n siirtymistä lämpimästä lähdöstä, jossa ajoneuvo saa lämmitä ennen testisykliä, kylmälähtöön. (8.) Muutoksen tuomat haasteet olivat luonteeltaan samankaltaisia kuin vuoden 2017 muutosten haasteiden odotetaan olevan: molemmissa tapauksissa ensimmäisen minuutin päästöt ovat avainasemassa.

3.2.1 NEDC

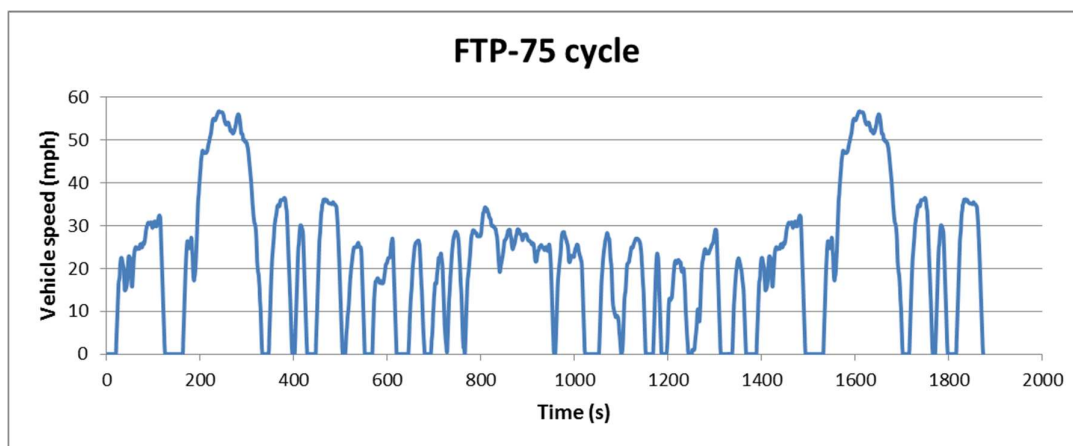
Euro-standardi käyttää vielä tällä hetkellä NEDC-testisykliä. NEDC on ollut käytössä vuodesta 1970 lähtien ja viimeisimmät muutokset siihen on tehty vuonna 1997. NEDC koostuu kahdesta osiosta: kaupunkiajoa mallintava UDC ja maantieajoa mallintava EUDC. NEDC vastaa noin 11 km (11023 m) matkaa ja kestää noin 20 minuuttia (1180 s). Keskinopeus testin aikana on 33,6 km/h. Testi suoritetaan ns. kylmälähdöllä eli ajoneuvon moottorin tulee olla ilman lämpötilan mukainen testin alkaessa. Alla olevasta kuvaajasta (Kuva 3) käy ilmi testisyklin tarkempi rakenne. (8.)



Kuva 3. NEDC-kuvaaja, jossa simuloitu nopeus suhteutettuna aikaan (7, s. 7).

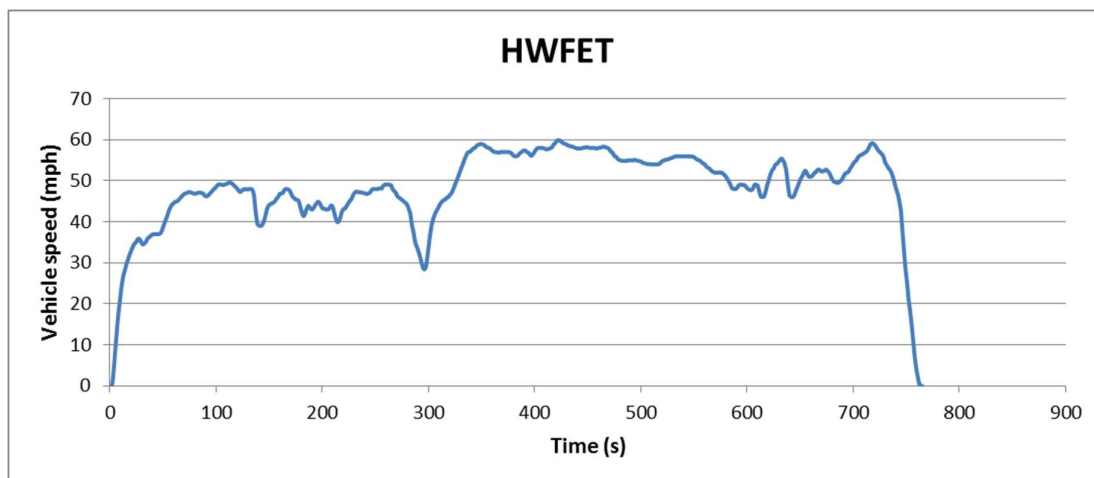
3.2.2 FTP-75

Yhdysvalloissa on käytössä EPA FTP (Federal Test Procedure) käytäntö/testisykli. Varsinaisesti FTP sisältää neljä eri testiä: kaupunkiajo (FTP-75), moottoritieajo (HWFET), aggressiivinen ajo (SFTP US06) ja ylimääräinen ilmastointitesti (SFTP SC03). Yleisesti kuitenkin tätä kokonaisuutta nimitetään vain FTP-75 nimellä ja näin on tehty tässäkin työssä. FTP-75 on ollut käytössä vuodesta 1978 lähtien ja uusimmat lisäykset siihen on tehty vuonna 2008. Varsinaista FTP-75 nimeä kantava osio simuloi kaupunkiajoa. Testisyklin pituus on 11,04 mailia (17,77 km), kesto n. 31 minuuttia (1874 s) ja testin keskinopeus on 21,2 mi/h (34,1 km/h). FTP-75 testisykli suoritetaan myös kylmälähdöllä. Yksityiskohdat käyvät ilmi alla olevasta kuvaajasta (Kuva 4).



Kuva 4. FTP-75-kuvaaja, jossa simuloitu nopeus suhteutettuna aikaan (7, s. 7).

Moottoritieajoa simuloiva HWFET (Highway Fuel Economy Driving Schedule) suoritetaan lämpimällä moottorilla ja sen tarkoitus on simuloida moottoritieajoa vastaavaa tilannetta. Testin pituus on 10,26 mailia (16,45 km), kesto n. 13 min (765 s) ja keskinopeus 48,3 mi/h (77,7 km/h). HWFET on käytössä vain polttoainetaloudellisuuden määrittämisessä.



Kuva 5. HWFET-kuvaaja, jossa simuloitu nopeus suhteutettuna aikaan (7, s. 7).

Tämän lisäksi testikäytäntöön kuuluu mainitut kaksi lisätestiä: SFTP US06 ja SC03. Näiden tarkemmat kuvaajat löytyvät työn liitteinä (liitteet 1 ja 2). US06 simuloi aggressiivista ajoa ja siten sisältää kovia kiihdytyksiä ja korkeita nopeuksia. Sen tehtävänä on täydentää päästömittausten paikkaansapitävyyttä todellisessa ajossa. Testin pituus on 8,01 mailia (12,8 km), kesto n. 10 min (596 s) ja keskinopeus 48,4 mi/h (77,9 km/h). Testin aikana saavutetaan parhaimmillaan huippunopeus 129,2 km/h. SC03 pyrkii täydentämään korkeamman moottorikuorman ja ilmastoinnin käytön vaikutuksen mittaamista päästöjen suhteen. Testissä ympäristön lämpötila nostetaan 35 celsiusasteeseen ja ajoneuvon ilmastointi kytketään päälle. Testin kesto on 9,9 min, pituus 5,8 km ja keskinopeus 35 km/h. (8.)

Euroopan ja Yhdysvaltojen testikäytäntöjen välillä on havaittavissa selkeä eroavaisuus monimutkaisuudessa ja kattavuudessa. NEDC-käytäntöä on kritisoitu sen vanhanaikaisuudesta ja epätarkkuudesta, korkeiden nopeuksien, kuorman sekä kiihtyvyyksien puute ja testin verrattain lyhyt kesto mainittavina kritiikin kohteina. NEDC on suunniteltu huomattavasti nykypäiväisistä autoista eroaville ajoneuvoille. (14, s. 1.) Yhdysvaltain FTP-75 on pysynyt päivitettyinä paremmin ja erityisesti US06- sekä SC03-testien käyttöönotto on lisännyt yhdenmukaisuutta todellisuuden kanssa. Täysin ilman kritiikkiä ei FTP-75 kuitenkaan ole: testi ei huomioi mahdollisia muutoksia tien kaltevuudessa, ja sen kiihtyvyydet sekä nopeudet ovat hieman alakanttiin arvioituja.

3.2.3 WLTP

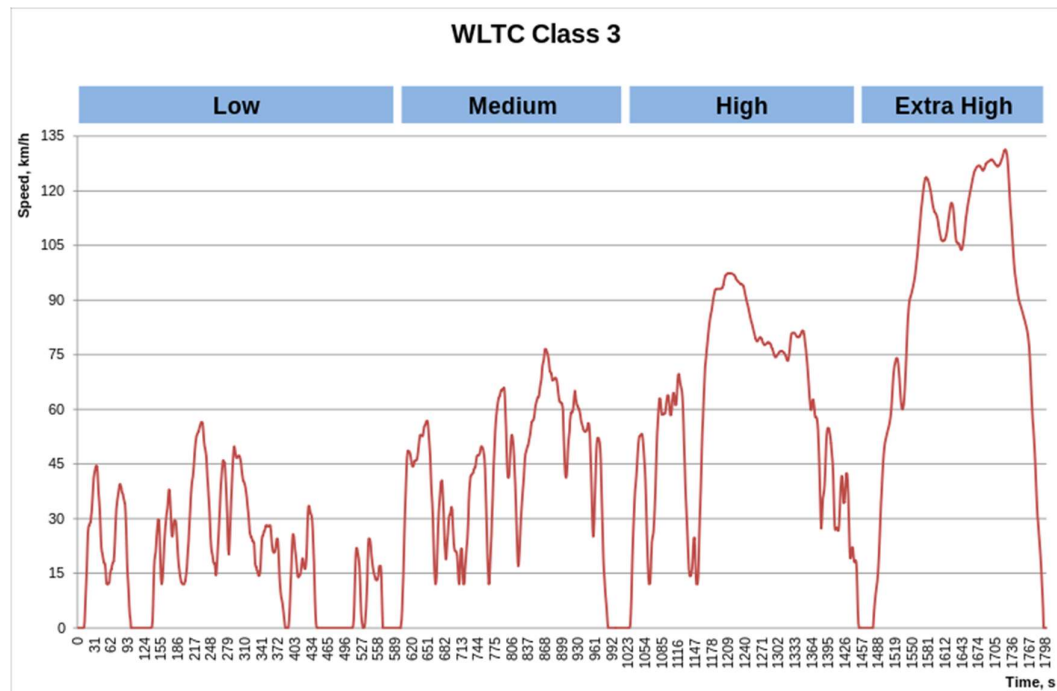
Euro 6d -standardin myötä vuonna 2017 NEDC poistuu käytöstä ja sen tilalle astuu WLTP (Worldwide harmonized Light vehicles Test Procedures). WLTP on globaali yhteistyöprojekti, johon osallistuvat suurimpina tahoina EU, Japani ja Intia. Yhdysvallat oli alunperin projektissa mukana, mutta jättäytyi siitä pois ennen projektin valmistumista ja siten ei ole sitoutunut WLTP:n käyttöönottoon. WLTP:n käyttöön sitoutuneet maat kuitenkin tekevät joitakin aluekohtaisia muutoksia testikäytäntöihin, kuten esimerkiksi EU:n WLTP käytännössä ympäristön lämpötilaksi asetetaan 14 astetta celsiusta alkuperäisen 23 asteen sijaan. Tämä lämpötila heijastaa paremmin Euroopan keskimääräisiä lämpötiloja ja siten parantaa testin todenmukaisuutta. WLTP:n lisäksi Euroopassa otetaan käyttöön RDE-testi (Real Driving Emissions), jossa dynamometritestin sijaan päästöjä mitataan varsinaisessa ajossa. (14, s. 1–4.)

WLTP:n pääasiallinen tarkoitus on korvata NEDC paremmalla ja tarkemmalla testikäytännöllä. Rakenteeltaan WLTP on suhteellisen lähellä FTP-75käytäntöä joka edesauttaa molempien alueiden yhdenmukaisuutta päästöjen hallinnassa. Tässä luvussa käydään läpi WLTP:n rakenne verraten sitä samalla NEDC:hen.

WLTP:n varsinaisen testisyklin nimi on WLTC (Worldwide Harmonized Light Vehicles Test Cycle). WLTC on jaettu kolmeen eri luokkaan perustuen ajoneuvon voima-paino suhteeseen (PW_r), joka lasketaan jakamalla ajoneuvon teho kilowatteina sen painolla tonneissa. Luokat jakautuvat seuraavasti:

- luokka 1 – matalatehoiset ajoneuvot: $PW_r \leq 22$;
- luokka 2 – keskitehoiset ajoneuvot: $22 < PW_r \leq 34$;
- luokka 3 – korkeatehoiset ajoneuvot: $PW_r > 34$.

Yleisimmillä ajoneuvoilla nykypäivänä on PW_r 40–70, jolloin ne sijottuvat luokkaan kolme. Bussit ja pakettiautot voivat joissain tapauksissa sijottua luokkaan kaksi. (8.) Tämän työn kannalta merkityksellisin on luokka kolme ja siten vain siitä esitetään tarkempi kuvaus. Seuraavasta kuvaajasta (kuva 6) ja taulukosta (taulukko 4) käy ilmi luokka kolmosen testisykli ja sen yksityiskohdat.



Kuva 6. Kuvaajassa esitettynä nopeus kilometreinä tunnissa pystyakselilla ja aika sekunteina vaakakselilla (14, s. 6).

Kuvaaja on jaettu neljään eri alueeseen huippunopeuden mukaan. Mikäli ajoneuvolla ei voida kategorian huippunopeutta saavuttaa (mm. 131 km/h ei välttämättä ole saavutettavissa kategorian isommilla pakettiautoilla), korvataan kyseinen sektio matalamman nopeuden sektorin toistolla. (8.) Seuraavassa taulukossa (taulukko 4) kuvaajan avainkohtia numeroarvoina.

Taulukko 4. WLTC numeroina (14, s. 7).

WLTC Luokka 3 testisykli					
	Low	Medium	High	Extra High	Summa
Kesto, s	589	433	455	323	1800
Pysähdysten kesto, s	156	48	31	7	242
Matka, m	3095	4756	7158	8254	23262
Pysähdysten prosenttiosuus	26,5 %	11,1 %	6,8 %	2,2 %	13,4 %
Huippunopeus, km/h	56,5	76,6	97,4	131,3	
Keskinopeus ilman pysähdyksiä, km/h	25,7	44,5	60,8	94	53,8
Keskinopeus pysähdyksillä, km/h	18,9	39,5	56,6	92	46,5
Pienin kiihtyvyys, m/s ₂	-1,5	-1,5	-1,5	-1,2	
Suurin kiihtyvyys, m/s ₂	1,5	1,6	1,6	1	

Taulukon 4 Low (matala), Medium (keskitaso), High (korkea), Extra High (erittäin korkea) viittaavat kuvan 6 nopeusjakoon.

3.2.4 WLTP verrattuna NEDC:hen

Avainkohtina verrattuna NEDC:hen WLTC on huomattavasti pidempi (1800 s vs. 1180 s), sisältää enemmän vaihtelua, saavuttaa korkeamman huippunopeuden, saavuttaa korkeamman keskinopeuden, ja pysähdysten osuus testin kestosta on merkittävästi pienempi. Näistä ensimmäinen kohta, testin kesto, on varsin merkittävä mm. NO_x-päästöjen kannalta, joista suurin osa syntyy ajoneuvon moottorin ollessa kylmä. Testin pidempi kesto painottaa vähemmän käynnistyksen olosuhteita. Pidempi testisykli myös vastaa todennäköisesti paremmin todellisia ajotapoja; keskimääräisesti eurooppalaisten ajomatkan kesto on yli 20 min (15, s. 68). Suuremmat vaihtelut ajokuvioissa vaikeuttavat myös tarkoituksenperäistä optimointia testiä varten. NEDC:n suhteellinen yksinkertaisuus houkutteli monia valmistajia optimoimaan päästönsä testin suhteen mieluummin kuin todellisuuden suhteen. WLTP pyrkii purkamaan näitä houkutusia. Korkeammat huippunopeudet ja keskinopeudet ovat myös parempia arvioita nykypäivän todellisesta ajosta. Pysähdysten osuuden pieneneminen vaikuttaa merkittävästi Start-stop-tekniikalla varustettujen autojen ja hybridien tuloksiin. Aiempi pysähdysten suuri osuus suosi selvästi teknologiaa, joka pystyi nollaamaan päästöt pysähdysten aikana. WLTP:ssä näistä on vielä selkeää hyötyä, mutta hyödyn määrä on vähäisempi ja arvioidusti lähempänä todellisuutta.

WLTP:n myötä testikäytäntöön tulee testisykliin uusimisen lisäksi muutoksia erinäisiin testausta koskeviin käytäntöihin. NEDC:n testausta koskevat säännöt ovat tietyillä osaluilla joko puuttellisia tai täysin olemattomia, kuten esimerkiksi rengaspaineita koskevat säännöt. WLTP pyrkii korjaamaan ja korvaamaan näitä puutteita. Ensimmäisenä merkittävänä erona WLTC sallii ajoneuvokohtaisen säädön vaihtenvaihdolle testisyklissä. NEDC:n testisyklissä oli kiinteät vaihdevalinnat kaikille ajoneuvoille. NEDC ei osannut arvioida tai huomioida vaihteiden määrän kasvua polttoainetaloudellisuuden tarpeen kiihtymisen myötä. Muutos auttaa tuomaan manuaalivaihteisten autojen arvoja lähemmäs tasoihin automaattivaihteisten autojen kanssa. NEDC ei myöskään määritellyt renkaiden tai jarrujen parametreja tarpeeksi tarkasti, joka johti mm. täysin poikkeuksellisten jarrusäädösten käyttöön testin yhteydessä. WLTP määrittää nämä vastaamaan todellista tuotetta, sellaisena kuin se käyttäjille myydään. Testiympäristön lämpötilaksi oli NEDC:n mukaan määriteltä 20–30 astetta celsiusta. Näin suuri toleranssi on nykypäivän teknologialla täysin tarpeeton ja siten turha hyväksikäytön houkutus. WLTP määrittelee ympäristön lämpötilaksi 23 astetta celsiusta (EU 14 astetta). Ajoneuvon testimassan määrä NEDC säännöillä oli ajoneuvon paino + 100 kg, joka simuloi kuljettajan vaikutusta. WLTP lisää tähän ajoneuvon painosta riippuvan massan, joka edustaa yleisiä lisälaitteita ja lisätavaraa jota autossa kulkee. Arvioidusti tämä lisäisi painoa keskimäärin 8,8 % (n. 125 kg) (14, s. 14) keskimääräiselle ajoneuvolle verrattuna NEDC:hen. Painon lisäys näkyy selkeästi mm. polttoainetaloudellisuudessa ja siten CO₂-päästöissä. Viimeisenä mainittavana tekijänä on akun latauksen hallinta. NEDC ei sisällä mitään sääntöä akun latauksen tasosta; WLTP määrää sen olevan todellisuutta vastaava eli ei jatkuvasti täyteen ladattuna. (14, s. 5)

Kaikenkaikkiaan WLTP muuttaa testauskäytäntöä erittäin merkittävästi. Nykyisten päästömittausten ei voida olettaa pätevän uudella testisyklillä. Suurimmat muutokset näkyvät todennäköisimmin CO₂- ja NO_x-päästöjen suhteellisessa kasvussa. ICCT (The International Council on Clean Transportation) ilmaisi 2014 julkaisussaan (14) tarpeen oikaista EU:n hiilidioksidipäästötavoitetta vuodelle 2020–2021. ICCT arvioi kohtuulliseksi muutokseksi alkuperäisestä arvosta 95 g CO₂/km arvoon 102 g CO₂/km. Tämä arvio ottaa lähinnä huomioon muuttuneen testisyklin ja lisätyn painomassan. Se jättää huomiotta muutokset, jotka se tulkitsee NEDC:n alkuperäisen tarkoituksen mukaiseksi. Näitä ovat mm. mainitut renkaiden ja jarrujen ylimääräiset säätämiset. Todellisuudessa siis autonvalmistajilla, jotka ovat hyödyntäneet nykyisen käytännön puutteita, on edessään iso haaste täyttää kaikki uudet vaatimukset. (14, s. 1–2.)

3.2.5 RDE

WLTP:n lisäksi EU ottaa käyttöön RDE-testin (Real Driving Emissions), joka muista tähänastisista testeistä eroten toteutetaan varsinaisessa ajossa dynamometrin sijaan. Testiä varten autoon asennetaan kompaktit mittauslaitteistot (PEMS, Portable Emissions Measurement Systems), jotka mittaavat dataa pakoputken päästä tulevista päästöistä. Aiemmin merkittävimpänä rajoittavana tekijänä on ollut mittauksen liittyvän teknologian hankaluus. Dynamometritestien luotettavuus on myös osoittautunut aiemmin uskottua heikommaksi. Vuonna 2014 ICCT:n tutkimuksessa (16, s. 22–29) dieselkäyttöisten autojen todellisista päästöistä, kävi ilmi ettei NEDC-käytännön mukaan testattu ajoneuvo välttämättä ole lähelläkään päästöarvoja todellisessa ajossa. Testissä oli mukana 15 autoa, ja testit suoritettiin RDE-tyylisesti mittaamalla pakoputken päästä tulevia päästöjä varsinaisessa ajossa. Tulokset osoittivat, että todelliset päästöt ovat kaukana tyyppihyväksytyistä arvoista NO_x-päästöjen kohdalla. Pahimmillaan päästöt olivat jopa 80-kertaiset sallittuun verraten ja parhaimmillaankin vain juuri sallitun rajan alle. Euro 6 -rajan alittavia tapauksia oli vain yksi; yksikään muu ei alittanut edes Euro 5 -rajaa. Aiemmin on tehty samankaltaisia tutkimuksia, jotka viittasivat varsinaisten NO_x-päästöjen ennemminkin kasvavan kuin pienenevän säädösten tiukentuessa. Tästä testisyklioptimoinnista äärimmäisenä esimerkkinä vuoden 2015 Volkswagenin skandaalia (17, s. 1), jossa kävi ilmi että Volkswagenin autoissa oli ollut erityisiä laitteita, jotka tunnistivat testitilanteen ja optimoivat auton käytöstä sen mukaan. Tällaiset ”selätyslaitteet” (eng. Defeat Device) ovat ehdottomasti kiellettyjä vanhassakin lainsäädännössä, mutta kielivät paljon tarpeesta tarkkailla päästöjä muutoinkin kuin vain dynamometrillä tyyppihyväksynnän yhteydessä.

RDE noudattaa periaatteessa samoja vaatimuksia Euro 6 -standardin kanssa, mutta Euro 6 -standardin ollessa suunniteltu dynamometritestien perusteella, otetaan RDE käyttöön mukautuskertoimella, jota ajan myötä pudotetaan. Mukautuskerroin on testin käyttöönoton yhteydessä 2,1 eli RDE:ssä ajoneuvon päästöt saavat olla 2,1-kertaiset verrattuna Euro 6 -rajoihin. Vuonna 2020 kerroin on 1,5, ja se on tämänhetkinen ”lopullinen” kerroin. Voidaan pitää kuitenkin oletettuna, että kerroin häivytetään ennen pitkää tulevien säädösten huomioidessa uudet testit. Suurimmalla osalla uusista dieselkäyttöisistä henkilöautoilla ei pitäisi olla vaikeuksia saavuttaa rajoja näillä kertoimilla. RDE kuitenkin tulee karsimaan tehokkaasti pahimmat saastuttajat, kuten aiemmin mainitun testissä olleen ajoneuvon, jonka päästöt olivat pahimmillaan 80-kertaisia sallittuun verraten. Tässä RDE onkin tärkeimmillään: varmistamaan

dieselkäyttöisten ajoneuvojen todelliset päästöt sallittavalle tasolle. Muitten mitattujen päästöjen taso näyttää olevan todellisuudessa varsin hyvin linjassa dynamometritestien tulosten kanssa. Vuonna 2017 käyttöön tuleva RDE PEMS ei kuitenkaan sisällä hiukkasmäärän mittaamista. Tämä on tarkoitus lisätä myöhemmässä vaiheessa. (18, s. 1–3.)

RDE on EU-komission käsittelyssä, eikä siten ole vielä tarkasti määriteltynä lakiin. Tämän vuoksi tarkempi tieto metodeista, kuten millainen ajokokeen tulee varsinaisesti olla, on vielä epävarmaa. Tarkoituseränä on mukailla todellista ajotilannetta, mutta kuitenkin tuottaa selkeitä toistettavia tuloksia, joissa varianssi on pientä. Tarkoituksen mukaisesti, voidaan kuvitella todellisen RDE-käytännön koostuvan rata-ajo-osuudesta ja normalisoidusta liikenteen seassa ajosta. EU-komission oletetaan vielä hyväksyvän kaksi RDE -lainsäädäntöä koskevaa pakettia lisää tällä hetkellä kahden hyväksytyn lisäksi. (19, s. 1.) Joka tapauksessa RDE:n on määrä astua käyttöön tyyppihyväksynnän yhteydessä vuoden 2017 alussa.

3.3 Euro 6 vs EPA Tier 3

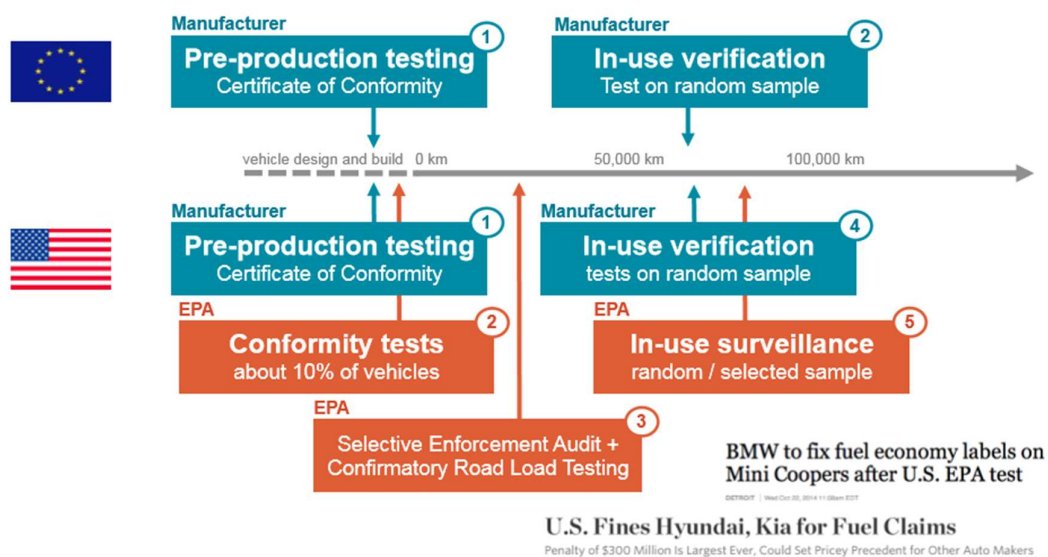
Euro 6d -standardin testikäytäntöjen myötä, Euro- ja EPA Tier -standardit lähenevät verrattavuudessa toisiaan merkittävästi. Tätä ennen NEDC:n testikäytäntöjen takia verrattavuus on ollut heikkoa, erityisesti dieselkäyttöisten ajoneuvojen kohdalla. FTP-75 ja WLTP toisaalta ovat merkittävästi lähempänä toisiaan, ja siten tilanne parantuu merkittävästi.

Kuitenkin standardien välillä on vielä yksi suuri ero: polttoaineen mukainen erottelu. Euro 6 asettaa eri rajoitukset diesel- ja bensiinikäyttöisille ajoneuvoille siinä missä Tier 3 ei tee erottelua näiden välillä. Selkeänä erona tässä käytännössä on Euro 6:n dieselkäyttöisille ajoneuvoille sallima NOx-päästöraja. Euro 6 -standardissa sallittu maksimi NOx-päästöille dieselkäyttöisessä ajoneuvossa on 80 mg/km, siinä missä Tier 3:n korkein mahdollinen raja (eli korkein kori) on 100 mg/km, mutta tähän tulee sisällyttää myös NMOG-päästöt. Yhdistettäessä nämä rajat Euro 6 -standardista, olisi raja 170 mg/km eurooppalaiselle dieselkäyttöiselle autolle. Tähän kun huomioi aiemmin mainitun huomattavan eron todellisten NOx-päästöjen ja NEDC-mitattujen arvojen välillä, voidaan selkeästi todeta valtava ero nykyhetkellä näiden kahden standardin välillä dieselkäyttöisiä ajoneuvoja koskien. Bensiinikäyttöisilläkin ajoneuvoilla Tier 3 on

merkittävästi tiukempi kuin Euro 6: NMOG+NOx:n maksimi bensiinikäyttöisille autoille Euro 6 -standardissa on 160 mg/km.

Näihin eroihin selityksenä voidaan pitää Yhdysvaltain päätöstä yhdenmukaistaa kansallinen Tier 3 -standardi kalifornian erityisiukan LEV III -standardin mukaiseksi. Toisaalta myös Euro 6 on ollut jo muutaman vuoden käytössä, kun Tier 3 tulee käyttöön. Euro 6 ottaa kiinni merkittävästi päästöjen todellista eroa WLTP- ja RDE-käyttöönottojen myötä, mutta realistisesti eroa sallituissa päästöissä jää silti merkittävästi.

Toisena merkittävänä eroavaisuuden osa-alueena on standardien toteutuvuuden valvonta tyyppihyväksynnän jälkeen. Molemmilla alueilla valmistaja vastaa tyyppihyväksynnän läpimenemisestä ennen tuotantoa. Tämän lisäksi molemmilla alueilla valmistajat varmistavat rajoitusten toteutuvan tuotantoajoneuvoissa tutkimalla sattumanvaraisia otoksia ajoneuvokannasta tietyn matkan ja/tai elinkaaren jälkeen. Tämän lisäksi Yhdysvalloissa EPA tekee omaa kolmivaiheista valvontaansa täysin valmistajasta riippumatta. Kuva 7 havainnollistaa käytäntöjä.



Kuva 7. Päästöjen valvonta eri alueilla (7, s. 19).

EU edellyttää kyllä ajoneuvojen katsastusta, johon kuuluu pakokaasujen mittaus, mutta katsastuksen yhteydessä tehtävä pakokaasumittaus on hyvin suppea ja kertoo lähinnä vain poikkeuksellisista ongelmista. Katsastuksen mittaukset eivät myöskään millään

tavoin huomioi auton polttoaineenkulutusta, joka tällöin on täysin valmistajan käsissä. Valmistaja pystyy optimoimaan, ja parhaimmillaan jopa huijaamaan, polttoaineenkulutusta mittaavia testejä varten, koska ylimääräistä valvontaa ei ole. Tarkempi valvonta varmistaa, että määritetyissä arvoissa pysytään ja tehokasta valvontaa voidaankin pitää yhtenä kulmakivenä päästöpolitiikan onnistumiselle. (7, s. 19–20.)

Euroopassa on alueittain pyritty tekemään omia ratkaisuja vähentämään päästöjä yhteisen EU-lainsäädännön rajojen lisäksi. Monissa Euroopan suurkaupungeissa on pyritty rajaamaan suuripäästöisimmät ajoneuvot kaupunkien keskustojen ulkopuolelle käyttäen erinäisiä kannustimia tai sakkoja. Kuvassa 8 muutama esimerkki ja tällaisten päästörajoitettujen LEZ-alueiden (Low Emission Zone) tuottamia tuloksia.

City / Region	Year of LEZ Introduction / Measurement	Indicator
Berlin	2008 / 2009	-24% diesel PM -8% overall PM ₁₀
Munich	2006-7 / 2008 / 2009-10	-60% transport contribution from 1.1 to 0.5 µg/m ³ elemental carbon ¹⁸
Netherlands – 9 cities	2007 / 2008	up to 2µg/m ³ PM reduction
London	2008 / 2008-2012	-5.8% PM ₁₀ -13% average annual PM ₁₀ concentration ¹⁹
Cologne	2008	4µg/m ³ PM ₁₀ reduction 1.2µg/m ³ NO ₂ reduction
Stockholm	1996 / 2000	-60% PM ₁₀ -20% NO _x
Milan – emission-based congestion charge	2011 / 2012	-19% PM ₁₀ ²⁰ -14% NO _x -15% CO ₂

Kuva 8. Matalapäästöalueiden tuloksia (7, s. 31).

Tällä osittain tasoitetaan ilmanlaatua eri alueitten välillä, ja se toimii yhdessä EU standardien kanssa tehokkaana tapana pitää ilmanlaatu hyvänä myös kaikkein tiheimmillä alueilla. Yhdysvalloissa LEZ-alueet eivät ole saavuttaneet juurikaan suosiota ja siten huomattavasti tiukemmille päästösäädöksille on suurempi tarve. (7, s. 32.)

Ajoneuvojen markkinat ja yritykset ovat varsin globaaleja ja siten yhdenmukaisuus päästöstandardeissa tuntuu järkevältä. On sekä valmistajan että kuluttajan kannalta

yksinkertaisempaa, jos sama auto on laillinen kaikissa maailman kolkissa. Mitään järkeenkäypää syytä päästörajojen löyhentämiselle tuskin voidaan esittää, joten pallo yhdenmukaistamisessa on tässä mielellä EU:lla. EPA Tier 3 asettaa esimerkin joustavasta mutta vahvasta standardista ajoneuvojen päästön hallintaan. WLTP- ja RDE-muutosten myötä Eurooppa ottaa paljon kiinni, mutta parantamisen varaa on vielä.

4 Päästöjenhallinnan teknologia

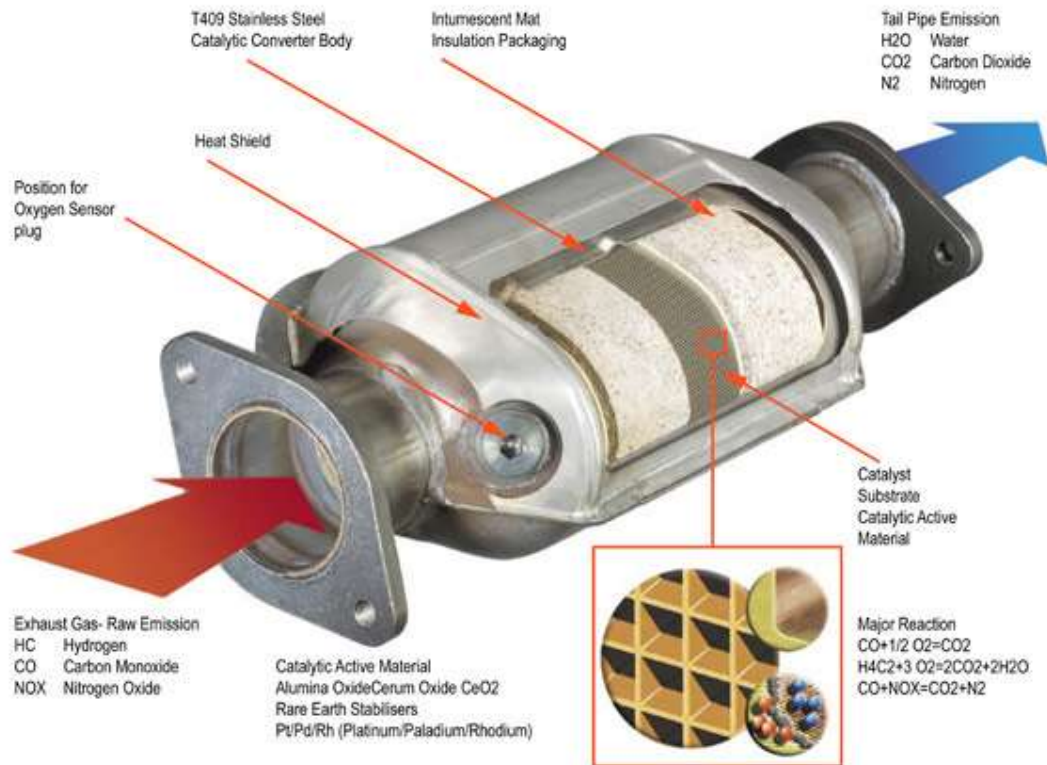
Jatkuva tarve pienentää ajoneuvojen päästöjä on johtanut moneen uuteen teknologiseen keksintöön ja mukautukseen. Varsinaisten pakokaasuja käsittelevien lisälaitteiden lisäksi on ollut tarpeellista parantaa polttomoottorin palotapahtuman kontrollia sekä polttoaineiden laatua. Erinäisiä metodeja ja teknologioita, joilla on ollut vaikutus autojen päästöjen vähenemiseen, on lukuisia. Iso osa näistä vaikutuksista on kuitenkin epäsuoria tai pieniä optimointeja kuten esimerkiksi erilaiset suorasuihkutustekniikat. Tässä luvussa tarkastellaankin vain siis suurimpia muutoksentekijöitä päästöjenhallinnan kentällä, eli siis lähinnä yleisimpiä käytettyjä itsenäisiä päästöjenhallintalaitteita. Polttoaineiden vaikutusta käydään lyhyesti läpi luvussa 5.1.

Kappaleessa esitellään laitteita, niiden toimintaperiaatteet yleisesti ja yleisimmät käytöt. Laitteiden esittelyn yhteydessä sekä yhteenvedossa käsitellään erinäisiä vuoden 2017 muutosten tuomia vaikutuksia laitteiden käyttöön.

4.1 Katalysaattorit

Ensimmäisiä ja merkittävimpiä hallintalaitteita oli katalysaattori. Katalysaattori on löytynyt käytännössä jokaisesta autosta jostain kohdin pakosarjaa jo pitkään. Katalysaattorin tehtävä on katalyytin avulla pelkistää päästöjä vähemmän haitallisiin muotoihin. Katalysaattorin varsinaisena katalyyttina toimii yleisimmin sekoitus erilaisia jalometalleja, joista yleisimpänä platina. Palladium ja rodium ovat kaksi muuta yleistä materiaalia.

Kuvasta 9 käy ilmi kolmitoimikatalysaattorin toimintaperiaate läpileikkauksena. Kolmitoimikatalysaattori on useimmiten sijoitettuna pakoputkessa ensimmäiseksi pakosarjasta katsottuna.



Kuva 9. Kolmitoimikatalysaattori (20).

Sopivan lämpötilan ja stoikiometrisen suhteen vallitessa katalysaattori saa aikaan kemiallisia reaktioita, jotka muuttavat pakokaasussa olevia yhdisteitä. Bensiinikäyttöisissä ajoneuvoissa käytetään kolmitoimikatalysaattoria, joka puhdistaa pakokaasuja kolmella tavalla: hiilimonoksidi (CO) hapettuu hiilidioksidiksi (CO₂), palamattomat hiilivedyt (HC) hapettuvat hiilidioksidiksi (CO₂) ja vedeksi (H₂O) sekä typen oksidit (NO_x) pelkistyvät typeksi (N₂). Kolmitoimikatalysaattori vaatii sopivan stoikiometrisen suhteen pystyäkseen pelkistämään typen oksidit, mikä ei ole mahdollista laihalla seoksella toimivassa dieselmoottorissa. Dieselmoottori käyttääkin siis kaksivaiheista katalysaattoria, jossa typenoksidien pelkistäminen jätetään pois. (21.)

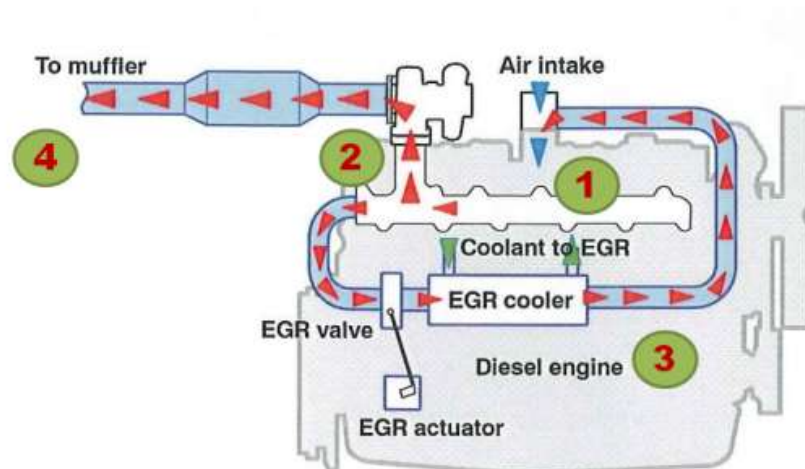
Katalysaattori ei tarvitse sinänsä mitään pakokaasujen ulkopuolista toimiakseen, eikä se periaatteessa myöskään kulu käytössä. Todellisuudessa kuitenkin katalysaattoriin jää pieniä määriä nokea ja rikkioksideja, jotka pitkällä aikavälillä heikentävät katalysaattorin toimintaa. Katalysaattori voidaan kuitenkin puhdistaa ja siten pidentää sen elinikää. Katalysaattori vaatii suhteellisen korkean lämpötilan (n. 250 astetta celsiusta) toimiakseen, eikä tätä lämpötilaa saavuteta aivan heti moottorin käynnistämisen jälkeen.

Testikäytännön siirryttyä kylmäkäynnistykseen, eli moottori on ympäristön lämpötilassa käyttölämpötilan sijaan, tarvittun lämmön saavuttaminen osoittautui haasteeksi. (2, s. 31.) Ongelmaa ratkaistiin mm. sijoittamalla katalysaattori lähemmäksi moottoria pakosarjassa ja tuottamalla palotapahtuma pakosarjassa (ks. 4.5). Vuoden 2017 muutoksen myötä kylmäkäynnistuksen tärkeys vähenee hieman, kun uusi testisykli on yli 50 % pidempi kuin nykyinen.

Katalysaattori ratkaisi ajoneuvojen HC- ja CO-päästöjen ongelman ja toimii yhä pääasiallisena tapana vähentää näitä päästöjä. Vuoden 2017 muuttuvat päästörajoitukset tai testikäytännöt eivät tuota suuria haasteita näiden päästöjen osalta. Katalysaattori on tehokas laite hallitsemaan näitä päästöjä ja nykyisellään suurin osa kyseisistä päästöistä syntyy ensimmäisen ajominuutin aikana. Toisin sanoen rajoitusten tiuketessa katalysaattorin lämpimäksi saaminen nousee jatkuvasti tärkeämmäksi. Voidaan siis pitää todennäköisenä, etteivät tulevat muutokset tuo uusia lisälaitteita käsittelemään HC- tai CO-päästöjä.

4.2 EGR

Pakokaasujen uudelleenkierrättäminen (EGR) on idealtaan yksinkertainen: osa pakokaasuista kierrätetään takaisin imusarjaan, jotta palamattomat aineet kaasussa palaisivat täysin ja palotapahtuman lämpötila laskisi (puhtaampi palotapahtuma). Erityisesti tällä pyritään vähentämään NOx-päästöjä.



Kuva 10. Havainnekuva välijäähdytetyn EGR:n toimintaperiaatteesta (22).

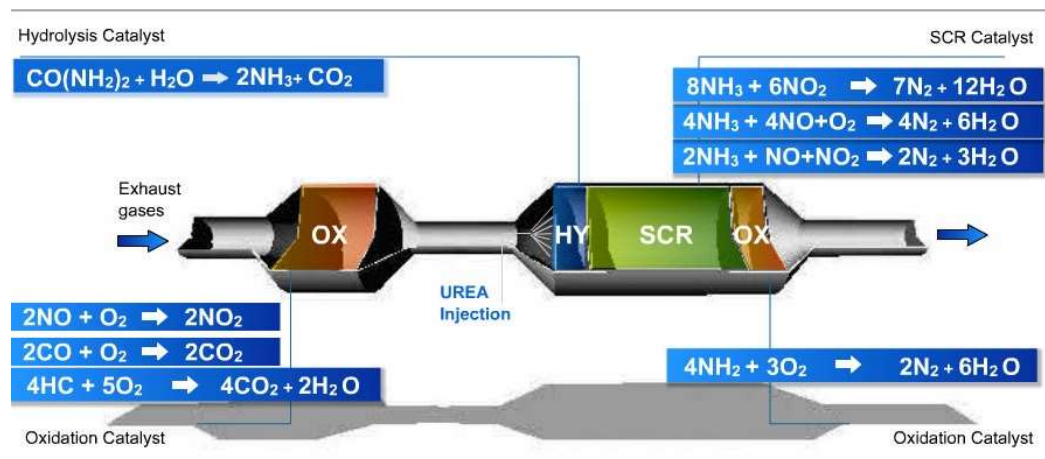
EGR:n tehoa voidaan parantaa jäähdyttämällä pakokaasuja, kuten kuvassa 10 on esitettyä, ja siten alentaen palotapahtuman lämpötilaa entisestään. EGR:n suosio pääasiallisena pakokaasujen käsittelylaitteena on laskenut kuluvina vuosina sen tehottomuuden vuoksi, joskin mm. Mazda on suosinut sitä vielä viime vuosina eurooppalaisissa dieselmääräisissä henkilöautoissaan (21, s. 8). EGR:n heikkous on sen tehokkuuden väheneminen korkealla kuormalla. Kuorman kasvaessa suurin mahdollinen uudelleenkierätyksen määrä pienenee siten heikentäen EGR:n tehokkuutta. (23, s. 2.)

Dieselmoottorien hyödyntäessä turboahdinta EGR tarvitsee paineistamisjärjestelmän kierrätetylle ilmalle, jotta kierrätetty ilma voidaan lisätä turboahdinten paineistamaan ilmaan. Pakokaasun kierrättäminen turboahdinten kautta kuluttaisi ahdinta ja heikentäisi sen tehokkuutta, joten useimmiten EGR:n kierrättämä ilma paineistetaan erikseen. (23, s. 2.) Tämä lisää järjestelmän energianvaadetta ja yhdistettynä verrattain huonoon kykyyn vähentää NOx-päästöjä, EGR:n suosion laantuminen on ymmärrettävää.

4.3 SCR

Toinen tapa hallita NOx-päästöjä on valikoiva katalyyttinen pelkistys (SCR, eng. Selective Catalytic Reduction). SCR:n toimintaperiaate on lisätä pakokaasujen sekaan pelkistysainetta, joka yhdessä katalyytin kanssa pelkistää NOx-päästöjä. Yleisiä

pelkistysaineita ovat ammonia ja urea sekä yleisiä katalyyttimateriaaleja ovat vanadiini, molybdeeni, wolframi, zeoliitit ja erinäiset jalometallit. Ammoniaa käytettäessä pelkistyksen tuotoksena syntyy typpeä ja vettä pääasiallisesti sekä pieninä määrinä rikkiatrioksiedeja ja ammoniumvetysulfaatteja. Ureaa käytettäessä kahta viimeistä mainittua ei synny. (24.) Kuva 11 havainnollistaa ureaa käyttävän SCR:n kemiallista toimintaperiaatetta.



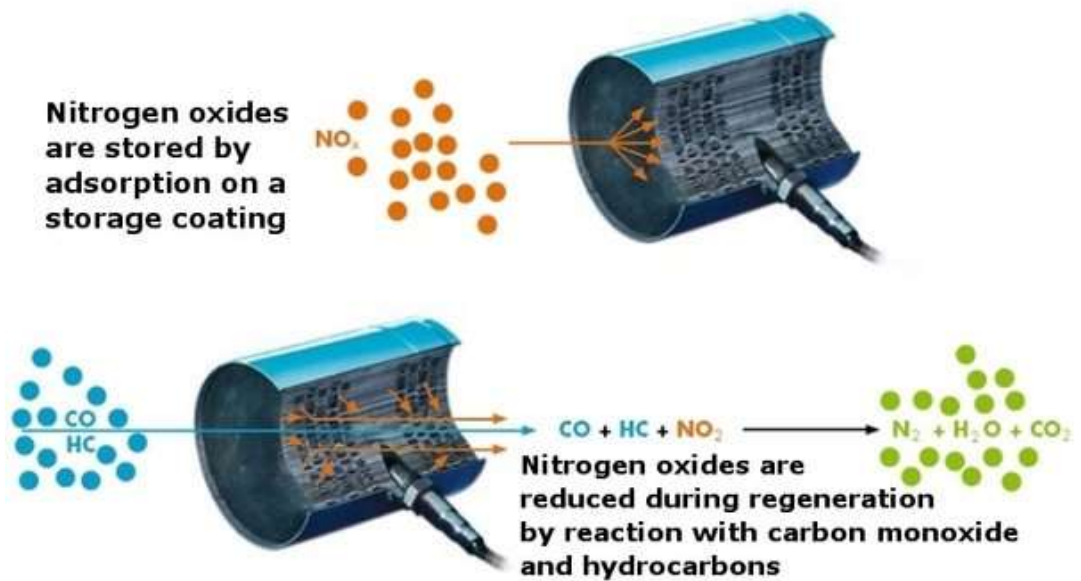
Kuva 11. Havainnekuva SCR:n toimintaperiaatteesta (25).

SCR:n etu on sen huomattavan hyvä kyky vähentää NO_x-päästöjä parhaimmillaan 95 %:n tehokkuudella. Isoimpana huonona puolena on lisäaineen tarve. (23, s. 2.) SCR onkin pääasiassa käytössä raskaammassa liikenteessä, jossa on mahdollista rakentaa riittävän kookkaita lisäainesäiliöitä ilman suurempaa vaikutusta taloudellisuuteen tai muuhun käytettävyyteen. Henkilöautopuolellankin SCR:ää käytetään yhä lisääntyvissä määrin, erityisesti Yhdysvalloissa myytävissä dieselkäyttöisissä autoissa. (23, s. 8.)

4.4 LNT

NO_x-adsorboija (LNT, eng. Lean NO_x Trap) on typen oksideja keräävä katalyytti. Ajoneuvon käydessä laihalla seoksella, LNT kerää typen oksidit katalyyttiin ja rikkaalla seoksella käydessä pelkistää niitä kolmitoimikatalysaattorin tapaan typeksi ja vedeksi. Etuna LNT:llä on verraten yksinkertainen toimintaperiaate, hyvä tehokkuus ja kestävyys. Huonoina puolina on rajoitettu kyky toimia pitkittyneessä kuormitusstilassa, tarve erittäin

vähärikkipitoiselle polttoaineelle ja korkea hinta suuremmilla moottoritulavuuksilla (yli 2 litraa) (23, s. 2). LNT imee typen oksidien lisäksi myös rikin oksideja, jotka saastuttavat katalyytin eivätkä normaalikäytössä pelkisty pois. Rikin oksidit voidaan kuitenkin pelkistää korkealämpöisellä regeneraatiocyklillä. Tämä toki vaikuttaa ajoneuvon polttoainetaloudellisuuteen. (26.)



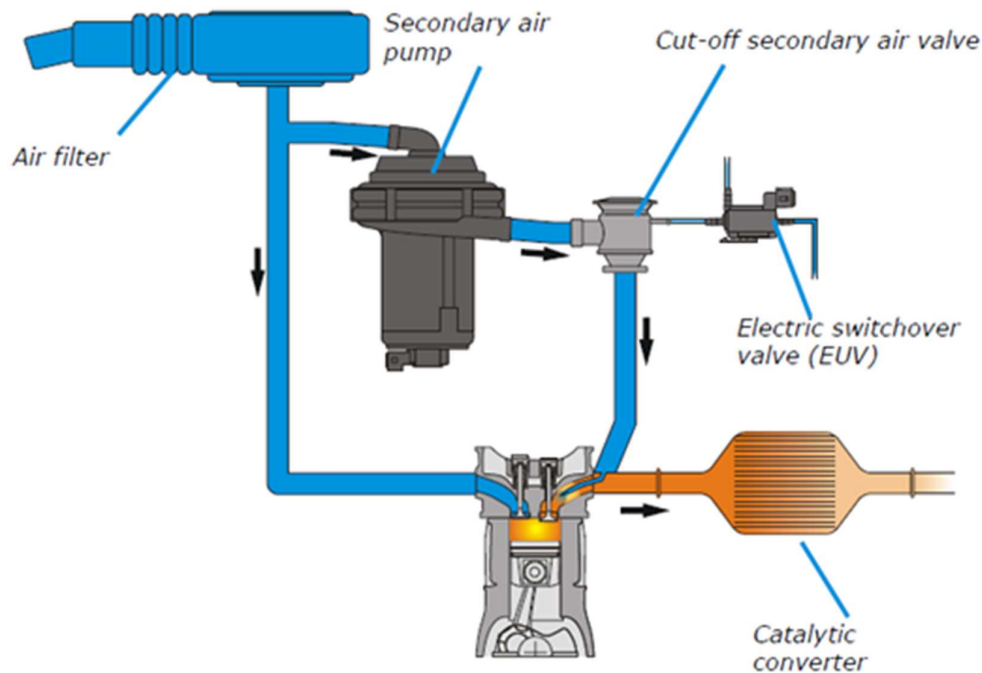
Kuva 12. NO_x -adsorboija eli LNT (27).

NO_x -adsorboijan tyyliin voidaan myös toteuttaa HC-adsorboija eli hiilivetyjä keräävä katalyytti. Nykyisellään tämänkaltaisia lisälaitteita ei ole juurikaan käytössä, mutta Tier 3 -standardin myötä EPA ennustaa HC-adsorboijien tulevan käyttöön raskaammissa bensiinikäyttöisissä ajoneuvoissa, kuten isoissa pickup-lava-autoissa. Tällaisten ajoneuvojen osuus liikenteestä on Euroopassa merkittävästi pienempi kuin Yhdysvalloissa, joten Euroopassa HC-adsorboijia tuskin juurikaan nähdään. (2, s. 111.)

4.5 SAI

Vaikkei se ole varsinainen päästöjä käsittelevä lisälaitte, sekundaarinen ilmansyöttö (SAI, Secondary air injection) on suoraan päästöihin liittyvä tekniikka. SAI syöttää joko

johdettuna tai pumpattuna tuoretta ilmaa pakosarjaan. Kuva 13 havainnollistaa pumppukäyttöistä SAI-järjestelmää.

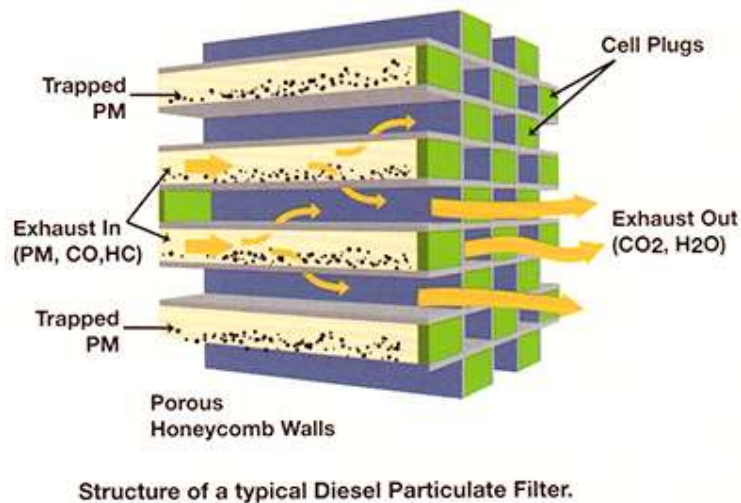


Kuva 13. SAI rakenteen havainnekuva (28).

Moottoria ajetaan rikkaalla seoksella, jolloin palotapahtumasta jää palamatonta polttoainetta pakokaasuihin. Tämä palamaton polttoaine saa sekundaarisen ilmansyötön avulla hapetta ja pakokaasujen korkean lämpötilan ansiosta polttoaine syttyy tuottaen palotapahtuman pakosarjaan. Palotapahtuman tarkoituksena on nostaa pakokaasujen lämpötilaa ja siten nopeuttaa (tai ylläpitää) katalyytin lämpenemistä. (29.)

4.6 DPF

Viimeisenä mainittavana päästöjenhallintalaitteena on hiukkassuodatin (DPF, eng. Diesel Particle Filter). Dieselin palotapahtuma tuottaa pieniä nokipartikkeleita, joita DPF pyrkii parhaansa mukaan keräämään pakokaasusta. Toimintaperiaatteeltaan DPF voi olla kertakäyttöinen, jolloin suodatin kerää hiukkasia itseensä ja se vaihdetaan kokonaisuudessaan tietyin aikavälein. DPF voi myös olla monikäyttöinen, jolloin suodattimen täytyttyä se regeneroidaan (useimmiten) tuottamalla suodattimeen korkea lämpötila ja siten polttamalla hiukkasmateriaali pois.



Kuva 14. Havainnekuva DPF:n toimintaperiaatteesta (30).

Hiukkasmateriaalia syntyy, kun erinäiset palamattomat aineet pyrolysoituvat noeksi. Imusarjasuihkutteisissa bensiinikäyttöisissä autoissa näitä syntyy verraten vähän, pääasiassa rikkaalla seoksella käydessä. Suorasuihkutteisella dieselikäyttöisellä autolla hiukkasia syntyy pääasiassa epähomogeenisen palotapahtuman takia. Yleisesti hiukkasmateriaalia pidetään dieselmoottorien ongelmana, mutta bensiinin suorasuihkutuksen yleistymisen myötä myös bensiinimoottorien kohdalla on syytä kiinnittää huomiota hiukkasten muodostumiseen. Yleisimmät suodattimet ovat seinävirtaustyyppisiä, eli niissä pakotetaan pakokaasuvirtaus suodattimen seinämän läpi, jolloin hiukkaset tarttuvat seinämateriaaliin. Virtaus seinämän läpi saadaan aikaan tukkimalla suodattimien kennorakenteesta osa etupuolelta ja osa takapuolelta, kuten kuvasta 14 käy ilmi. Monikäyttöisten suodattimien yleisimmät materiaalit ovat kordieriitti ja piikarbidi. Kertakäyttöisiä voidaan valmistaa jopa paperista; tällaisen kertakäyttöisen suodattimen etu on halpa valmistushinta ja siihen verraten hyvä suodatuskyky. Kertakäyttöisten suodattimien verraten tiuha vaihtoväli tosin tehnyt monikäyttöisistä suosituimpia. (31.)

4.7 Yhteenveto

Näitä erinäisiä teknologioita voidaan yhdistellä keskenään ja mm. BMW käyttää Yhdysvalloissa myytävissä dieselikäyttöisissä autoissaan LNT+SCR-yhdistelmää, jossa

LNT syntetisoi pakokaasuista ammoniaa SCR:n käyttöön. Tällainen ratkaisu on toki monimutkainen, tilaa vievä ja teknisesti vaativa. Ylipäänsä rajoitusten tiukentuessa ja erityisesti Euroopassa testikäytäntömuutosten myötä monimutkaisempien ratkaisujen tarve dieselkäyttöisille henkilöautoille kasvaa. Jo vuonna 2014 Yhdysvaltain markkinoille valmistetuista dieselkäyttöisistä henkilöautoista n. 60 % käytti SCR:ää tai sen yhdistelmää, siinä missä euroopassa osuus oli alle 40 %. (23, s. 8.)

Hybriditeknologian voidaan myös spekuloida kehittyvän ja yleistyvän tiukkenevien päästörajoitusten myötä pitkällä aikavälillä; kyky ajaa autoa sähköllä antaa selkeän edun käynnistystilanteessa. Ajotapahtumaa edeltävän esilämmituksen sijaan voidaan ajotapahtuma aloittaa sähkömoottorin käytöllä, samalla kun päästöhallintalaitteita lämmitetään mm. lämmitysvastuksia hyödyntäen. Tässä mielessä saatetaan jopa nähdä tulevaisuudessa erityisiä minimalistihybridejä, joissa sähkömoottorin tarkoitus on ajaa autoa vain pieni aika käynnistytyn jälkeen kunnes lisälaitteet ovat käyttövalmiina. Etu tässä on kuitenkin suurempi bensiinikäyttöisillä ajoneuvoilla; NOx-päästöjen hallinta on dieselkäyttöisillä ajoneuvoilla haaste ajotilanteen muissakin vaiheissa kuin kylmäkäynnistytyn yhteydessä. (16 , s. 19.)

Vuoden 2017 tulevien uusien rajoitusten ja erityisesti euroopan testikäytäntöjen muutosten myötä suurimmaksi haasteeksi osoittautuneekin dieselkäyttöisten henkilöautojen NOx-päästöt. Lisälaitteiden, ja niiden yhdistämisen tarve kasvaa erityisesti Euroopan markkinoilla. Uudet rajoitukset uusilla testikäytännöillä ovat kuitenkin saavutettavissa edellä mainittuja teknologioita hyödyntäen. Erityisesti SCR:n voidaan olettaa yleistyvän ja siten lisääneen jakelun infrastruktuurin kasvavan. Suoranaisia uusia lisälaitteita tai teknologioita ei ole tiettävästi tulossa markkinoille muutosten myötä. Nykyisillä laitteilla uusistakin rajoituksista ja käytännöistä voidaan suoriutua, mutta tämän seurauksena voidaan dieselkäyttöisten autojen hinnan ja polttoaineen kulutuksen olettaa nousevan huomattavasti.

Bensiinikäyttöisillä ajoneuvoilla haasteet ovat pienempiä, mutta nykyisen teknologian parantaminen ja parempi hyödyntäminen on tarpeen, jotta rajoihin päästään. EPA ennustaa analyysissään suorasuihkutuksen yleistyvän huomattavasti bensiinimoottoreilla uusien säädösten aikakautena, jopa parhaimmillaan 100 %:iin autoista asti. (1, s. 54.)

Yleisesti riittävän lämmön tuotanto ja sopivuuden sääntely ongelma lähes kaikilla katalyyttisillä lisälaitteilla. Palotapahtuman optimoinnilla ja parantamisella suora vaikutus päästöihin. Imusarjasuihkutteisten moottorien kylmäkäynnistysominaisuuksia voidaan parantaa mm. polttoaineen suihkutuksen pisarakoon pienentämisellä. Suuremmat pisarat jäävät imusarjan seinämiin kiinni ja palotapahtuma ei ole täydellinen, mikä nostaa HC-päästöjä. Suorasuihkutuksessa tätä ongelmaa ei ole, kun polttoaine suihkutetaan suoraan palotilaan. Suorasuihkutuksen ongelmana on lyhyempi aikaikkuna sopivan seoksen muodostamiselle ja siten mahdollisen epä-homogeenisen palotapahtuman tuottamat hiukkaset. (2, s. 34.)

Katalyyttien lämpenemistä voidaan nopeuttaa mm. sytytyksen ajoituksen myöhäistämällä. Tämä laskee palotapahtuman huippulämpötilaa ja nostaa pakokaasujen lämpötilaa auttaen katalyyttien lämpenemisessä. Rajoittavana tekijänä toimii moottorin tuottaman momentin vähentyminen sytytyksen ajoituksen myöhäistämisen myötä. Sytytyksen ajoituksen dynaaminen säätö vaatii muuttuvaprofiilisen nokkakoneiston (VVT, eng. Variable Valve Timing). VVT on tosin nykypäivänä jo laajalle levinnyt teknologia, ja siten sen käyttö päästöjen hallintaan on varsin todennäköistä. (2, s. 35.) Erinäisten katalyyttien läheisyys on myös tärkeää lämpöhäviöiden minimoimiseksi. EPA toteaa analyysissään odotetuksi, että HC-adsorbereita tullaan käyttämään tilanteissa kun katalyyttiä ei saada lämmitettyä tarpeeksi nopeasti, erityisesti isoilla bensakoneilla. (2, s. 39.)

Katalyyttien lämmittämisen tehokkuuteen voidaan myös vaikuttaa vähentämällä pakosarjan lämpöhävikkiä ympäröivään ilmaan putkimateriaalin kautta. Pakosarjan massan vähentyessä myös sen lämpöhäviöt vähenevät (2, s. 36). Pakoputkia voidaan myös eristää ja siten vähentää niissä kulkevan pakokaasun lämpöhäviötä. Vähentämällä pakosarjan monimutkaista geometriaa voidaan myös edistää lämpötehokkuutta; pakokaasun mahdollisimman suora virtaus vähentää lämpöhäviöitä ajan suhteen. (2, s. 37.)

Yleisesti voidaan todeta, että uusien säädösten myötä ei ole välttämätöntä tarvetta uudelle teknologialle, mutta vanhan teknologian jalostaminen ja tehokkaampi hyödyntäminen on tarpeen. Teknologisesta näkökulmasta katsottuna kaikki asetetut rajat ja käytäntömuutokset eivät ole missään mielessä ylitsepääsemätön este. Voidaan myös odottaa eri alueilla käytettävien teknologioiden olevan lähempänä toisiaan tulevaisuudessa Euro 6d- ja EPA Tier 3 -standardien yhdenmukaisuuden ansiosta.

5 Polttoaine ja kasvihuonekaasut

5.1 Polttoaineen vaikutus

Vuosi 2017 ei tuo erityistä muutosta polttoainestandardiin Euroopassa, mutta Yhdysvalloissa Tier 3 -siirtymän myötä tiukkenee paikallinen lainsäädäntö sen suhteen. Tier 3 -standardin myötä Yhdysvallat siirtyy 30 ppm:n rikkipitoisesta polttoaineesta 10 ppm:n rikkipitoiseen polttoaineeseen (12, s. 3). Euroopassa on jo käytössä 10 ppm:n rikkipitoisuuden raja polttoaineelle.

EPA toteaa Tier 3 -standardia koskevassa analyysissään ehdottoman tarpeelliseksi pienentää polttoaineen rikkipitoisuutta, jotta uudet päästörajat voidaan saavuttaa. Polttoaineen rikkipitoisuuden on osoitettu olevan lineaarisesti verrannollinen ajoneuvon tuottamiin päästöihin (2, s. 10). Vähentämällä polttoaineen rikkipitoisuutta voidaan siis suoraan vaikuttaa pakokaasupäästöjen määriin.

Polttoaineen rikkipitoisuus vaikuttaa merkittävästi erilaisten katalyyttien toimivuuteen, sillä palotapahtuman yhteydessä syntyvät rikkidioksidit myrkyttävät katalyyttimateriaaleja ja siten estävät niiden täyden toiminnan. Katalyytteja voidaan regeneroida eli polttaa niistä rikkidioksideja pois, mutta regeneraatiokyky on rajoitettu. Rikinpoiston vaatima regeneraatiotapahtuma vaatii varsin korkean lämmön, joka voi vahingoittaa katalyyttimateriaaleja ja jonka tuottaminen vaikeissa olosuhteissa (mm. kylmässä) voi olla mahdotonta. (2, s. 11.)

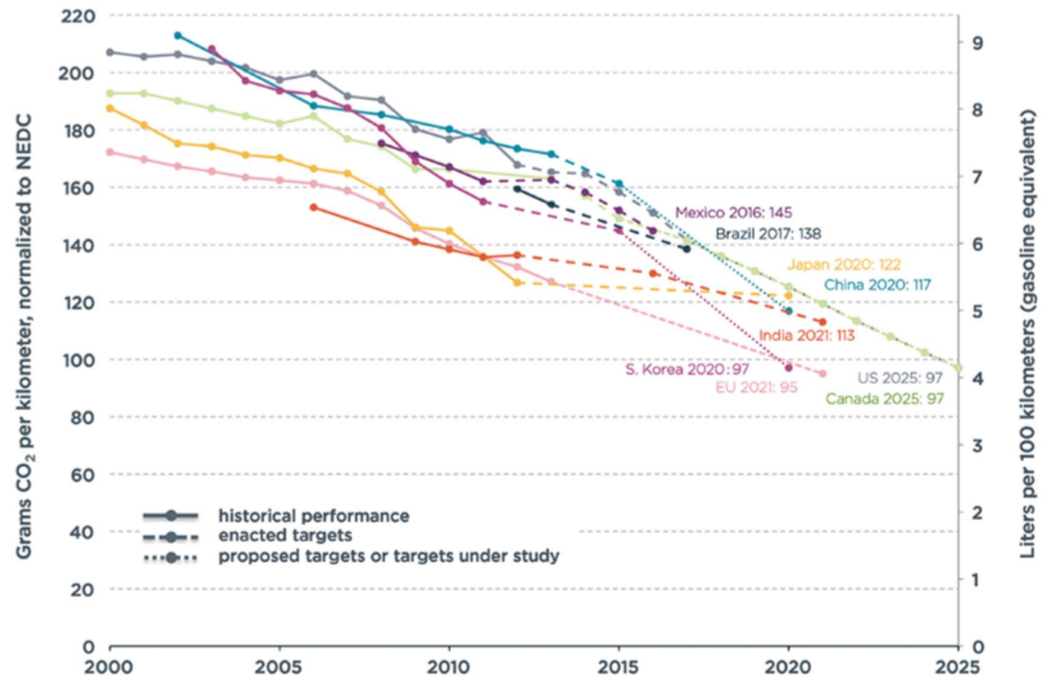
Polttoaineen rikkipitoisuuden merkitys kasvaa, mitä pienempiä sallittujen päästöjen raja-arvot ovat. Polttoaineen rikkipitoisuuden vähentäminen tulevaisuudessa on varsin todennäköistä, mikäli säädöksiä tiukennetaan entisestään.

5.2 Kasvihuonekaasut ja niiden muutos uusien standardien myötä

Kasvihuonekaasuilla tarkoitetaan kaasuja, jotka ilmakehässä ollessaan päästävät suurimman osan auringon säteilystä maahan, mutta estävät lämpösäteilyä maan pinnalta avaruuteen luoden kasvihuoneilmion. Ilmastonmuutoksen kannalta merkittävimpiä ihmisten tuottamia kasvihuonekaasuja ovat hiilidioksidi (CO_2) ja metaani (CH_4). (32.)

Autojen tuottama merkittävin kasvihuonekaasu on hiilidioksidi. Tämän lisäksi, syntyy pieniä määriä dityppioksideja (N_2O) ja metaania (CH_4). Kumpikaan Euro- tai EPA-standardi ei rajoita suoraan kasvihuonekaasujen määriä autoissa, mutta mainitut kaksi jälkimmäistä ovat suoraan sidoksissa muihin lainsäädännön alaisiin päästöihin. EPA:n analyysissa todetaan näiden kahden kasvihuonekaasun määrien laskevan uusien rajojen myötä (2, s. 495–496), joten samaa voitaneen olettaa myös olevan totta Euroopassa. Näiden kasvihuonekaasujen määrä pakokaasuissa on kuitenkin verraten varsin pieni, eivätkä siten ole kovin merkittäviä.

Hiilidioksidia sen sijaan syntyy huomattavia määriä (12–14 % pakokaasuista, kuva 1) ajoneuvojen käytöstä. Hiilidioksidin muodostuminen ei ole yhdistettävissä suoraan standardien määrittämiin päästöihin, eikä niiden siten odoteta muuttuvan sallittujen rajojen muutosten myötä. EPA ilmaisee saman näkemyksen omassa analyysissään (2, s. 495–499). Hiilidioksidi on kuitenkin itsesään merkittävä osuus ajoneuvojen tuottamista haitoista ja sen vähentämiseen on jatkuva pyrkimys. Seuraavasta kuvaajasta (kuva 15) käy ilmi lyhyesti hiilidioksidipäästöjen trendi ja asetetut tavoitteet.



Kuva 15. Hiilidioksidipäästöt vuosikohtaisella aikajalla (7, s. 15).

Uusien testikäytäntöjen myötä, eurooppalaisten autojen ilmoitetut CO₂-päästöt kuitenkin tarvitsevat uusimsta. ICCT toteaa vuoden 2014 analyysissään (14, s. 1–20) tarpeen oikaista aiemmin asetettua 95g CO₂/km keskimääräistä tavoitetta vuodelle 2020. Analyysissään ICCT laskelmoi oikaisutarpeen olevan n. 7g CO₂/km, huomioiden uuden WLTP testikäytännön eroavaisuudet. Todellisuudessa kuitenkin ilmoitetut päästölukemat voivat olla enemmänkin vääristyneitä, koska ICCT:n korjauskerroin huomioi vain osan muutoksista. ICCT jättää tarkoituksella osan muutoksista huomioimatta (mm. testitilanteessa renkaiden laatua koskevien kriteerien lisäys) koska se pitää vanhoja käytäntöjä NEDC:n hengen vastaisina.

Ajoneuvon tuottama CO₂ on suoraan verrannollinen sen polttoaineenkulutukseen. Ajoneuvojen polttoainetaloudellisuuden parantamisen lisäksi ei CO₂-päästöihin voida juurikaan ajoneuvoissa vaikuttaa. Polttoainetaloudellisuuteen vaikuttavat monet tekijät ja niihin voidaan vaikuttaa hyvin monin eri tavoin. Hiilidioksidipäästöjen rajoitusten ollessa vuonna 2017 tulevien Euro- ja EPA Tier 3 -muutosten piirin ulkopuolella ei aiheeseen tässä työssä pureuduta tämän enempää.

6 Loppupäätelmät

Tulevien muutosten kovimmissa pyörteissä ovat mitä selkeimmin eurooppalaiset dieselkäyttöiset henkilöautot. Tiukemmat absoluuttiset rajat ja erityisesti siirtyminen heikosta NEDC-testikäytännöstä pois ovat huomattava haaste nykyisille dieselkäyttöisille henkilöautoille. WLTP- ja RDE-testikäytäntöjen myötä ei ole enää mahdollista optimoida autoja yhtä vahvasti testejä varten, kuin aiemmin oli. Erityisesti NOx-päästöjen reaalinäärien poikkeama testituloksista on varsin hälyyttävä. RDE:ssä mitatuille päästöille tulevat korjauskertoimet kertovat paljon tilanteesta. Kuitenkaan millään tasolla uusista rajoista ja käytännöistä ei ole mahdollista selvittää dieselkäyttöisillä ajoneuvoillakaan; Yhdysvalloissa on monia Tier 2 -hyväksytyjä dieselkäyttöisiä malleja, jotka alittaisivat selkeästi Euro 6 -vaatimukset uusillakin testikäytännöillä. Tässä mielessä korjauskertoimien suuruuksia voidaan pitää hieman kunnianhimottomina, kun rajat voidaan todistetusti kyllä saavuttaa. Tosin tällöin ehkä on myös hyvä kysyä, mihin päästöpolitiikalla tähdätään ja onko vähempi aina ehdottomasti parempi.

EPA Tier 3 -standardi asettaa hyvän päästöpolitiikan riman korkealle. Tier 3 onnistuu olemaan samanaikaisesti sekä tehokkaampi rajoitin päästöille, kuin joustavampi malli valmistajille. Arvojen keskiarvojen käyttäminen laissa sallii valmistajille monipuoliset valikoimat automalleissa, mutta samalla selkeästi kannustavat tuottamaan ja myymään vähäpäästöisiä ajoneuvoja. WLTP ja erityisesti RDE tekevät Euro 6 -standardista merkittävästi kilpailukykyisemmän, mutta parantamisen varaa jää vielä.

Molemmilla osa-alueilla jää kuitenkin parantamisen varaa: dynamometreillä tehtävät testit eivät ole täydellisiä, ja testioptimointi on vielä täysin mahdollista. RDE:n kaltaiset testit todennäköisesti antavat huomattavasti tarkempia tuloksia ja kehitys suuntaakin enemmän tämäntyyppisiin testeihin tulevaisuudessa. Testeissä on nähty suoranaista huijaamista, joten niiden tarkkuus ja todellisuutta vastaavuus on ensiarvoisen tärkeää, jotta pakokaasuja koskevassa päästöpolitiikassa on yhtään järkeä.

Teknologian saralla uudet muutokset eivät tuo sinällään uutta; vanhan teknologian tehokkaampi hyödyntäminen on riittävä vastaamaan uusiin vaateisiin. Suurin kysymys lieneekin tällöin kustannustehokkuus joka on iso haaste jo valmiiksi kannattavuuden kanssa kamppailevalle autoteollisuudelle. Erityisesti dieselkäyttöisten henkilöautojen

suosio euroopassa voi tulevaisuudessa laskea, mikäli valmistuskulut kasvavat huomattavasti nykyisestä.

Kaiken kaikkiaan tulevat muutokset ovat isoja, mutteivat mitenkään ylitsepääsemättömiä. Ilmanlaatu on kaikkien ihmisten yhteinen asia, joten tehokkaammin kontrolloituja haitallisia päästöjä voidaan pitää yhteiskunnallisesti vain hyvänä asiana. Kaupunkien kasvu ei näytä laantuvan ja yhteiskunta on vuosi vuodelta yhä urbaanimpi. Voidaankin olettaa, etteivät tulevat standardit ole millään tasolla viimeisiä eikä tarve yhä tiukemmille päästörajoille hellitä tulevaisuudessakaan.

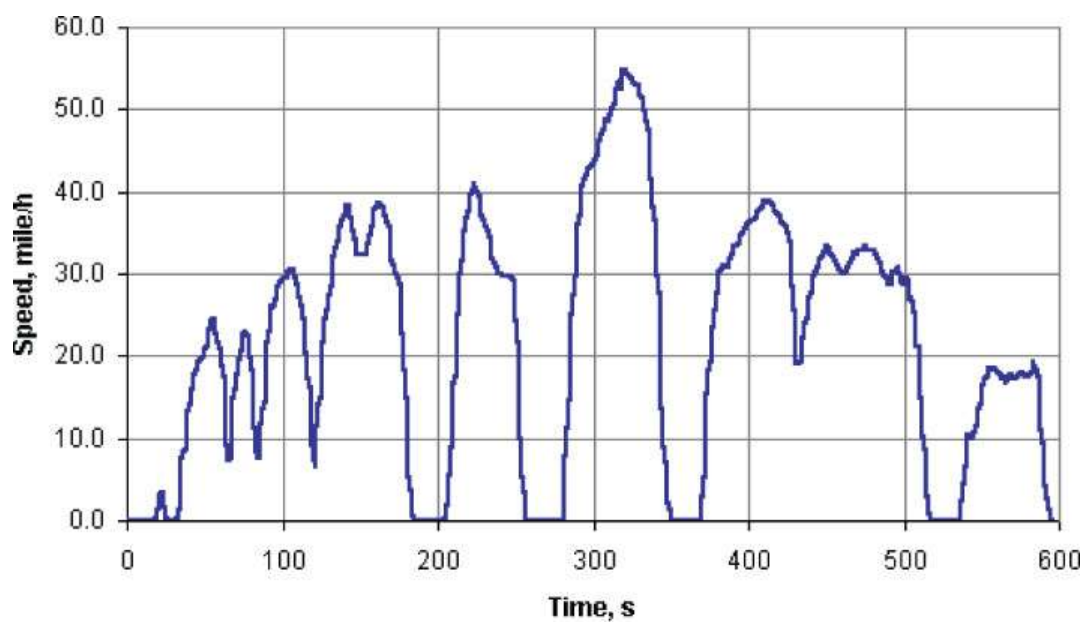
Lähteet

- 1 Motor Vehicle Exhaust Emissions. 2004. Volkswagen AG Self-Study Programme.
- 2 Control of Air Pollution from Motor Vehicles: Tier 3 Motor Vehicle Emission and Fuel Standards Final Rule – Regulatory Impact Analysis. 2014. Environment Protection Agency, USA.
- 3 The Harmful Effects of Vehicle Exhaust. 2015. Verkkodokumentti. Environment and human health, Inc. < <http://www.ehhi.org/reports/exhaust/summary.shtml>>. Luettu 4.5.2016.
- 4 Road transport: Reducing CO2 emissions from vehicles. 15.4.2016. Verkkodokumentti. European Commission. < http://ec.europa.eu/clima/policies/transport/vehicles/index_en.htm>. Luettu 7.8.2016.
- 5 Ghose, Tia. 24.9.2015. Volkswagen Scandal: Why Is It So Hard to Make Clean Diesel Cars? Live Science. <http://www.livescience.com/52284-volkswagen-scandal-clean-diesel-challenges.html>. Luettu 30.4.2016.
- 6 Emission Standards. 2016. Verkkodokumentti. DieselNet. < <https://www.dieselnet.com/standards/>>. Luettu 8.5.2016.
- 7 Blumberg, Kate & Posada, Francisco. 2015. Comparison of US and EU programs to control light-duty vehicle emissions. The International Council on Clean Transportation.
- 8 Emission Test Cycles. 2016. Verkkodokumentti. DieselNet. < <https://www.dieselnet.com/standards/cycles/>>. Luettu 8.5.2016.
- 9 Emission Facts – The History of Reducing Tailpipe Emissions. 1999. Environmental Protection Agency, USA.
- 10 EU: Light-duty: Emissions. 2016. Verkkodokumentti. Transportpolicy.net. <http://www.transportpolicy.net/index.php?title=EU: Light-duty: Emissions>. Luettu 8.5.2016.
- 11 Zero-Emission Vehicle Legal and Regulatory Activities – Background. 2011. Verkkodokumentti. California Air Resources Board. < <http://www.arb.ca.gov/msprog/zevprog/background.htm>>. Luettu 8.5.2016.
- 12 EPA Sets Tier 3 Motor Vehicle Emission and Fuel Standards. 2014. Virallinen tiedote. < <https://www3.epa.gov/otaq/tier3.htm>>
- 13 Sluder, C. Scott & West, Brian H. 2011. NMOG Emissions Characterizations and Estimation for Vehicles Using Ethanol-Blended Fuels. Oak Ridge National Laboratory.

- 14 Peter Mock ym. 2014. The WLTP: How a new test procedure for cars will affect fuel consumption values in the EU. The International Council on Clean Transportation.
- 15 Pasaoglu, G. ym. 2012. Driving and parking patterns of European car drivers – a mobility survey. Joint Resarch Centre, European Comission.
- 16 Franco, Vicente ym. 2014. Real-World Exhaust Emissions From Modern Diesel Cars. The International Council on Clean Transportation.
- 17 Volkswagen says 800,000 cars may have false CO2 levels. 2015. Verkkodokumentti BBC News. <http://www.bbc.com/news/business-34712435>. Luettu 19.5.2016.
- 18 The European Real-Driving Emissions Regulation. 2015. Tiivistelmä. International Council on Clean Transportation.
- 19 Vehicle emissions in real driving conditions: Council gives green light to second package. 12.2.2016. Verkkodokumentti. European Council. <http://www.consilium.europa.eu/en/press/press-releases/2016/02/12-vehicle-emissions-in-real-driving-conditions-2nd-package/>. Luettu 30.4.2016.
- 20 Catalytic Converter. 2016. Verkkodokumentti. Master Muffler. <http://master-muffler.net/catalytic-converter>. Luettu 19.5.2016.
- 21 How Catalytic Converters Work. 2016. Verkkodokumentti. HowStuffWorks. <http://auto.howstuffworks.com/catalytic-converter.htm>. Luettu 19.5.2016.
- 22 Exhaust Gas Recirculation (EGR). 2014. Verkkodokumentti. Public Transport SG. <https://publictransportsg.wordpress.com/2014/02/04/exhaust-gas-recirculation-egr/>. Luettu 19.5.2016.
- 23 Yang, Liuhanzi ym. 2015. NOx Control Technologies for Euro 6 Diesel Passenger Cars. The International Council on Clean Transportation.
- 24 What is Selective Cataytic Reduction? 2016. Verkkodokumentti. Diesel Technology Forum. <http://www.dieselforum.org/about-clean-diesel/what-is-scr>. Luettu 19.5.2016.
- 25 Euro 5/V Engine and Aftertreatment Technology. 2016. Lubrizol. <https://www.lubrizol.com/EngineOilAdditives/ACEA/ReferenceMaterial/EngineAfterTreatmentTechnologies.html>. Luettu 19.5.2016.
- 26 NOx adsorbers. 2016. Verkkodokumentti. DieselNet. https://www.dieselnet.com/tech/cat_nox-trap.php. Luettu 19.5.2016.
- 27 NOx adsrober. 2016. Verkkodokumentti. America Pink. http://america.pink/nox-adsorber_3140715.html. Luettu 19.5.2016.
- 28 Secondary Air Technology. 2016. Verkkodokumentti. PartInfo.

- <http://www.partinfo.co.uk/articles/30>. Luettu 19.5.2016.
- 29 Secondary air system. 2016. Verkkodokumentti. My-cardictionary.com. <http://www.my-cardictionary.com/mixture-preparation/secondary-air-system.html>. Luettu 19.5.2016.
- 30 Fuel Systems Service - Diesel. 2016. Verkkodokumentti. Automotive Support Products. <http://www.autoproducts.com.au/dieselparticulatefilter.html>. Luettu 19.5.2016.
- 31 Diesel particulate filters. 2016. Verkkodokumentti. DieselNet. <https://www.dieselnet.com/tech/dpf.php>. Luettu 19.5.2016.
- 32 Climate Change Indicators in the United States – Greenhouse Gases. 2016. Verkkodokumentti. Environment Protection Agency. <https://www3.epa.gov/climatechange/science/indicators/ghg/>. Luettu 1.5.2016.

SFTP SC03 (8.)



SFTP US06 (8.)

